



PROJEKT SOLÁRNÍ LABORATOŘE

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Zbyněk Resl**
Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.





PROJECT OF SOLAR LABORATORY

Diploma thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2302T010 – Machine and Equipment Systems
Author: **Bc. Zbyněk Resl**
Supervisor: doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **Bc. Zbyněk R E S L**

Studijní program **N2301 Strojní inženýrství**

Obor **2302T010 Konstrukce strojů a zařízení**

Zaměření **Tepelná technika**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Projekt solární laboratoře

Zásady pro vypracování:

(uvedte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Provedte rešerši literatury a norem o měření solárních panelů.
2. S pomocí literatury navrhnete solární laboratoř Katedry energetických zařízení v nové budově „G“ TU v Liberci.
3. Součástí prováděcího projektu laboratoře bude:
 - a. Schéma soustav pro měření panelů a to včetně napojení na akumulaci nádrží/nádrže, jak pro měření s vodou, tak pro měření s nemrznoucí směsí.
 - b. Schéma propojení a rozmístění panelů na střeše budovy „G“, s uvažováním zastínění od hromosvodů a dalších prvků na střeše.
 - c. Schéma rozmístění jednotlivých prvků (nádrže, regulace, expanzní nádrže a další) v místnosti laboratoře (4. NP budovy „G“).
 - d. Návrh stojanového systému pro solární panely.



- e. Seznam materiálu pro stavbu solární laboratoře k jednotlivým výkresům a seznam materiálu pro oživení (např. pro obnovení meteostanice).
- 4. K seznamu materiálu vypracujte orientační rozpočet.
- 5. Navrhněte postupy (úlohy) měření v laboratoři.

Forma zpracování diplomové práce:

- původní zpráva: cca 40 stran
- grafické práce: 30 příloh

Seznam odborné doporučené literatury:

- [1]Duffie, J.A., Beckman, W.A.: Solar engineering of thermal processes. 3. vydání. Wiley 2006, ISBN 13-978-0-471-69867-8.
- [2]Cihelka, J.: Solární tepelná technika, Nakladatelství T. Malina, Praha 1994.
- [3]Brož, K., Šourek, B.: Alternativní zdroje energie, Vydavatelství ČVUT v Praze, 2003. ISBN 80-01-02802-X.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Petr Novotný, CSc.



doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci dne 24. 3. 2014

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem solární laboratoře umístěné na střeše budovy „G“ v areálu Technické univerzity v Liberci. S pomocí norem a další literatury zabývající se měřením účinností solárních kolektorů byly navrženy dva oběhy. Jeden pro přesné měření s dvěma kolektory, kde byla použita voda jako teplotonosná látka, a druhý pro dlouhodobé sledování, kde byla použita směs vody a propylenglykolu.

Umístění kolektorů bylo zvoleno tak, aby nedocházelo k zastínění kolektorů ostatními kolektory a dalšími předměty umístěnými na střeše. Pro uchycení a polohování kolektorů byl navržen stojan. Pro budoucí laboratoř byly vypracovány dvě úlohy měření.

Klíčová slova: solární, laboratoř, kolektor, meteostanice

Annotation

This diploma thesis is focused on the design of solar laboratory which will be placed on the roof of the building „G“ in campus of the Technical University in Liberec. With the help of standards and other literature dealing with the measurement of the efficiency of solar collectors were designed two circuits. One for the precise measurement with two collectors, where water was used as a cooling medium and a second for long term monitoring, where a mixture of water and propylene glycol will be used.

Location of collectors were selected so as to avoid obscuring the other collector panels and other items placed on the roof. For mounting and positioning of collectors was designed stand. For future laboratory have developed two measurement tasks.

Key words: solar, laboratory, collector, metrological, station

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřeby TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladu, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 23.5.2014

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my theses to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Concurrently I confirm that the printed version of my master thesis is coincident with an electronic version, inserted into the IS STAG.

Date: 23.5. 2014

Signature:

Seznam

Seznam symbolů a označení.....	5
1 Úvod.....	7
2 Základní pojmy	9
Solární kolektor [2].....	9
Typy solárních kolektorů.....	9
Účinnost kolektoru.....	12
Modifikátor úhlu dopadu [7].....	14
Časová konstanta.....	15
Geometrie slunečního záření [12].....	16
3 Zkušební metody solárních kolektorů.....	18
Zkoušky spolehlivosti.....	18
Podmínky měření tepelného výkonu a účinnosti při ustálených podmínkách.....	19
Rám a umístění kolektoru.....	20
Přístrojové vybavení k měření účinnosti kolektorů.....	21
Oběhové čerpadlo a regulace objemového toku.....	23
Závěr z normy ČSN EN 12975-2.....	23
4 Prostory laboratoře a dispoziční řešení.....	25
Stínění kolektorů.....	25
5 Schéma solární laboratoře.....	27
Zapojení oběhu přesného měření.....	27
Zapojení oběhu dlouhodobého sledování.....	29
Výběr teplotnosné látky.....	31
Voda.....	31
Glykolové nemrzoucí směsi	31
Hmotnostní tok teplotnosné kapaliny.....	35
Potrubí.....	37
Dimenzování potrubí [10].....	37
Kontrola napětí v potrubí.....	38
Vedení potrubí [12].....	40
Tlakové poměry v solární soustavě.....	41
Pojistný ventil [12].....	42
Expanzní nádoba.....	43
Výpočet tepelného výkonu kolektorů.....	45
Výpočet tlakových ztrát [17].....	47
Výběr čerpadla.....	50
Regulace průtoku.....	53
6 Stojan kolektoru.....	54
7 Seznam materiálu pro stavbu solární laboratoře.....	55
8 Orientační rozpočet.....	57
9 Navrhované úlohy měření.....	58
Určení časové konstanty kolektoru.....	58
10 Závěr.....	61
Seznam použité literatury.....	62
Seznam příloh.....	64

Seznam symbolů a označení

A_{0-5}	[1]	konstanty vodní směsi propylenglykolu
A_A	[m ²]	plocha absorberu
A_a	[m ²]	plocha apertury kolektoru
a_1	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
a_2	[W·m ⁻² ·K ⁻²]	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru
c_p	[kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita
C	[1]	materiálová konstanta
d	[mm]	světlost potrubí
d_p	[mm]	světlost pojišťovacího potrubí
E	[MPa]	Youngův modul pružnosti v tahu
G	[W·m ⁻²]	sluneční ozáření
h	[°]	výška Slunce nad obzorem
k	[1]	konstanta bezpečnosti
K_v	[m ³ ·h ⁻¹ ·bar ⁻¹]	průtokový součinitel
K_θ	[1]	směrová charakteristika kolektoru
l	[m]	délka potrubí
l_0	[mm]	kompenzační délka
m	[kg]	hmotnost
\dot{m}	[kg·s ⁻¹]	hmotnostní tok
p	[Pa]	tlak
p_0	[kPa]	minimální provozní tlak soustavy
p_b	[kPa]	barometrický tlak
p_e	[kPa]	maximální provozní tlak soustavy
p_d	[kPa]	minimální tlak požadovaný v nejvyšším místě soustavy
p_{Fj}	[kPa]	tlaková ztráta vlivem místních odporů v posuzovaném úseku
p_{PV}	[kPa]	tlak pojistného ventilu
p_O	[kPa]	tlaková ztráta vlivem místních odporů
p_T	[kPa]	tlaková ztráta třením
p_{zt}	[kPa]	celková tlaková ztráta
Pr	[1]	Prandtlovo číslo
Q	[m ³ ·s ⁻¹]	objemový tok
\dot{Q}	[W]	užitečný získaný výkon
R_e	[MPa]	mez kluzu
s	[mm]	tloušťka potrubí
S	[m ²]	průtočný průřez
t	[h]	čas
t_e	[°C]	teplota teplotnosné látky na výstupu z kolektoru
t_i	[°C]	teplota teplotnosné látky na vstupu do kolektoru
t_0	[°C]	teplota plnění kolektorů
t_o	[°C]	teplota okolí
t_{max}	[°C]	maximální provozní teplota soustavy
t_m	[°C]	střední hodnota teploty teplotnosné látky
t_{sv}	[°C]	teplota studené vody ze sítě
t_{tl}	[°C]	teplota teplotnosné látky
t_z	[°C]	střední hodnota teploty teplotnosné látky v zásobníku

T	[K]	termodynamická teplota
T_m^*	[m ² ·K·W ⁻¹]	redukovaný teplotní rozdíl
T_t	[K]	teplota tuhnutí
v	[m ³ ·kg ⁻¹]	měrný objem
V	[dm ³]	celkový objem teplotnosné látky soustavy
V_c	[dm ³]	objem teplotnosné látky v oběhu pro promíchávání
V_{od}	[m ³]	odvedený objem ze systému
V_S	[dm ³]	minimální objem teplotnosné látky v expanzní nádobě
V_k	[dm ³]	objem solárních kolektorů
Z	[1]	součinitel znečištění atmosféry
w	[m·s ⁻¹]	rychlost teplotnosné látky v potrubí
α	[1]	pohltivost slunečního záření
$\alpha_{(t_{max}-t_0)}$	[K ⁻¹]	součinitel teplotní délkové roztažnosti
β	[K ⁻¹]	součinitel teplotní objemové roztažnosti teplotnosné látky
$\beta_{(t_{max}-t_0)}$	[1]	součinitel objemové teplotní roztažnosti teplotnosné látky určený pro daný provozní teplotní rozsah $t_{max}-t_0$
β_k	[°]	úhel mezi vodorovnou rovinou a rovinou plochy kolektoru
γ	[°]	azimut plochy
γ_s	[°]	azimut Slunce
δ	[°]	deklinace
Δp_v	[bar]	nejvyšší možný tlakový spád na regulačním ventilu
Δl	[mm]	délková teplotní změna
ΔT	[K]	rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou kolektoru
ζ	[1]	součinitel třecích ztrát vlivem místních odporů
η	[1]	účinnost solárního kolektoru
η_0	[1]	účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách
$\eta_{0(\theta)}$	[1]	optická účinnost při obecném úhlu dopadu
$\eta_{0(0^\circ)}$	[1]	optická účinnost při kolmém úhlu dopadu
η_{en}	[1]	stupeň využití expanzní nádoby
σ_a	[MPa]	axiální napětí
σ_{ekv}	[MPa]	ekvivalentní napětí
σ_t	[MPa]	tečné napětí
θ	[°]	úhel dopadu slunečního záření na rovinu kolektoru
θ_z	[°]	úhel zenitu
λ	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	tepelná vodivost
λ_{stz}	[1]	součinitel třecích ztrát vlivem tření mezi teplotnosnou látkou a potrubím
μ	[Pa·s]	dynamická viskozita
ν	[m ² ·s ⁻¹]	kinematická viskozita
ξ	[1]	hmotnostní koncentrace propylenglykolu v roztoku
ρ	[kg·m ³]	hustota
φ	[°]	zeměpisná šířka
τ	[°]	sluneční časový úhel
τ_c	[min]	časová konstanta kolektoru

1 Úvod

Práce se zabývá rekonstrukcí solární laboratoře, která bude přesunuta ze střechy budovy „B“ na střechu nově postavené budovy „G“ v areálu Technické univerzity v Liberci.

Cílem práce je provést rešerši literatury a norem o měření solárních kolektorů a následně navrhnout solární laboratoř o dvou okruzích měření. První okruh bude respektovat normu ČSN EN 12975-2 o zkušebních metodách solárních kolektorů. Kvůli přísným podmínkám normy budou v tomto oběhu zapojeny jen dva kolektory a jako teplotonosná látka bude použita voda.

V druhém oběhu, který bude sloužit pro dlouhodobého sledování, budou zapojeny zbylé kolektory a teplotonosnou látkou oběhu bude směs vody a propylenglykolu.

Součástí práce bude prováděcí projekt, který bude obsahovat:

- 1) Schéma soustav pro měření kolektorů, a to včetně napojení na akumulční nádrže pro oba okruhy.
- 2) Schéma propojení a rozmístění kolektorů na střechu budovy „G“ s uvažováním zastínění od hromosvodů a dalších prvků na střechu.
- 3) Schéma rozmístění jednotlivých prvků (nádrže, regulace, expanzní nádrže a další) v místnosti laboratoře (4. NP budovy „G“).
- 4) Návrh stojanového systému pro solární kolektory.
- 5) Seznam materiálu pro stavbu solární laboratoře k jednotlivým výkresům a seznam materiálu pro oživení (např. pro obnovení meteostanice).

Dále se v zadání vyžaduje vypracovat orientační rozpočet na rekonstrukci laboratoře a navrhnout dvě úlohy měření.

V současné době disponuje Katedra energetických zařízení devíti kolektory (specifikace v příloze č.1), které zbyly po demontáži předešlé laboratoře.

Všechny kolektory byly dříve paralelně zapojeny, což umožňovalo měřit a porovnávat účinnosti jednotlivých kolektorů za stejných podmínek slunečního ozáření. Zapojení všech kolektorů, ale také vedlo k nestálým podmínkám měření, a to především nekonstantní teplotě na vstupu teplotonosné látky do kolektoru.

Získané teplo se vyměňovalo v solárním zásobníku Solarito II a následně se mařilo přes výměník s

axiálním ventilátorem. Podobným způsobem se bude mařit teplo i v budoucí laboratoři, protože při návrhu budovy „G“ bylo propojení solárního systému se systémem TUV a vytápění z provozních důvodů vyškrtáno.

V práci bude také navržen stojan pro uchycení a polohování kolektorů, které dříve nebylo možné.



Obrázek 1: Zapojené kolektory v bývalé laboratoři na střeše budovy „B“ v areálu TUL (1.11.2005).

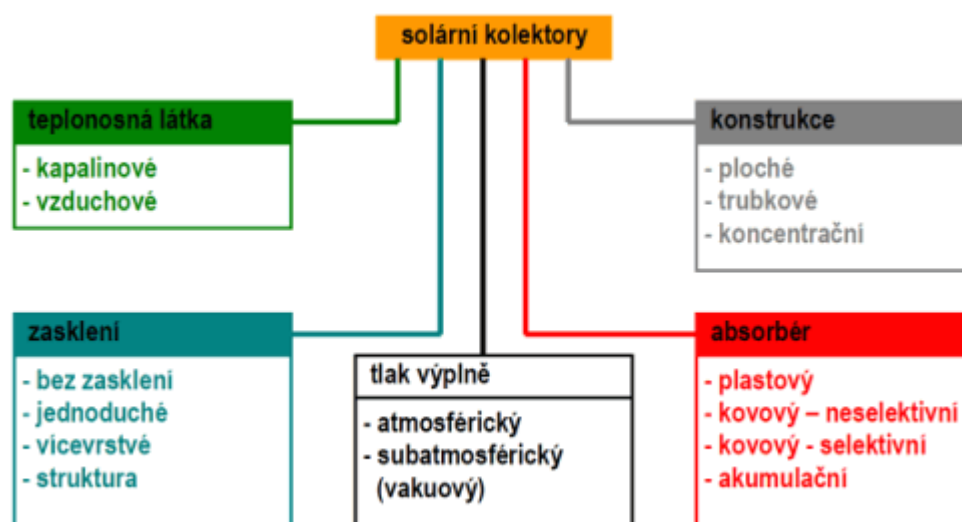
2 Základní pojmy

V oblasti solárních kolektorů je několik základních pojmů, které je dobré znát pro pochopení následujícího textu práce a na které se bude v práci odvolávat.

Solární kolektor [2]

Solární tepelný kolektor je zařízení určené k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na tepelnou energii, která je předávána teplotonosné látce protékající kolektorem. Užívání termínu panel se potlačuje, aby se předešlo nežádoucím záměnám s fotovoltaickými panely.

Solární kolektory, ve kterých je používána kapalina jako teplotonosná látka (voda, nemrzoucí směs vody a propylenglykolu), se využívají pro naprostou většinu aplikací v budovách. Solární vzduchové kolektory jsou v ČR využívány pouze okrajově pro předehřev čerstvého vzduchu, pro větrání nebo pro předehřev oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění (tepl vzdušné, sálavé).



Obrázek 2: Rozdělení solárních kolektorů [3].

Solární kapalinové kolektory lze dále rozdělit podle řady hledisek (obrázek 3).

Typy solárních kolektorů

Z rozdělení [3] vyplývají konstrukční kombinace, se kterými je možné se v praxi setkat.

Ploché nekrytý kolektor

Zpravidla se jedná o plastovou rohož bez zasklení s vysokými tepelnými ztrátami závislými na

venkovních podmínkách, zvláště na rychlosti proudění větru. Nekryté kolektory jsou proto určeny hlavně pro sezónní ohřev bazénové vody o nízké teplotní úrovni.



Obrázek 3: Bazénové absorbéry jako rohože z materiálu odolného vůči UV záření [4].

Plochý neselektivní kolektor

Jde o zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně neselektivním povlakem (např. černým pohltivým nátěrem). Neselektivní kolektory mohou být vzhledem ke značným tepelným ztrátám vlivem sálání absorbéru v zimním období využity pouze pro sezónní přehřev vody při nízké teplotní úrovni. Na trhu se v současné době příliš nevyskytují.

Plochý selektivní kolektor

Plochý selektivní kolektor je zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a s tepelnou izolací na boční a zadní straně kolektorové skříně. Vzhledem k výrazně sníženým tepelným ztrátám sáláním absorbéru se ploché selektivní kolektory využívají pro solární ohřev vody a vytápění celoročně a tvoří naprostou většinu zasklených kolektorů na trhu. Takový kolektor je vidět na obrázku 4.

Plochý vakuový kolektor

Plochý vakuový kolektor je zasklený deskový kolektor v těsném provedení s kovovým absorbérem se spektrálně selektivním povlakem a tlakem uvnitř kolektoru nižším než atmosférický tlak v okolí kolektoru (absolutní tlak cca 1 až 10 kPa) pro zajištění nízké celkové tepelné ztráty. Tyto kolektory jsou určeny pro celoroční solární ohřev vody a vytápění, případně průmyslové aplikace s provozními teplotami okolo 100 °C. Takový kolektor je vidět na obrázku 5.

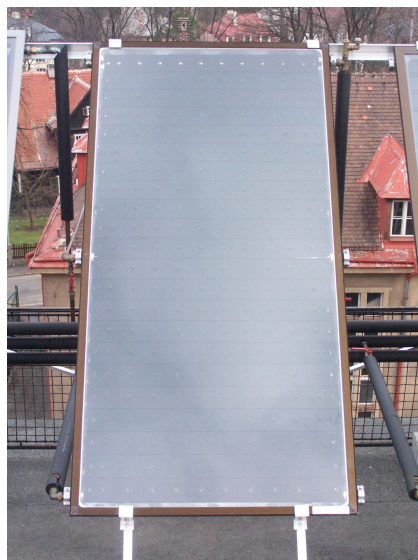
Trubkový jednotěnný vakuový kolektor

Trubkový jednotěnný vakuový kolektor je kolektor s plochým spektrálně selektivním absorbérem umístěným ve vakuované skleněné trubce (absolutní tlak $< 10^{-3}$ Pa). Výrazné omezení tepelných

ztrát (nízkoemisivní absorbér, vakuová izolace) a vysoký přenos tepla z absorbéro do teplotnosné kapaliny svařovaným spojem poskytuje vysokou účinnost kolektoru v celém teplotním rozsahu. Kolektor je použitelný pro většinu aplikací, ale vzhledem k relativně vysoké ceně především pro kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C). Takový kolektor je vidět na obrázku 6.



Obrázek 4: Kolektor NAU [20].



Thermosolar H400V [20].



Obrázek 4: Kolektor VK25 [20].

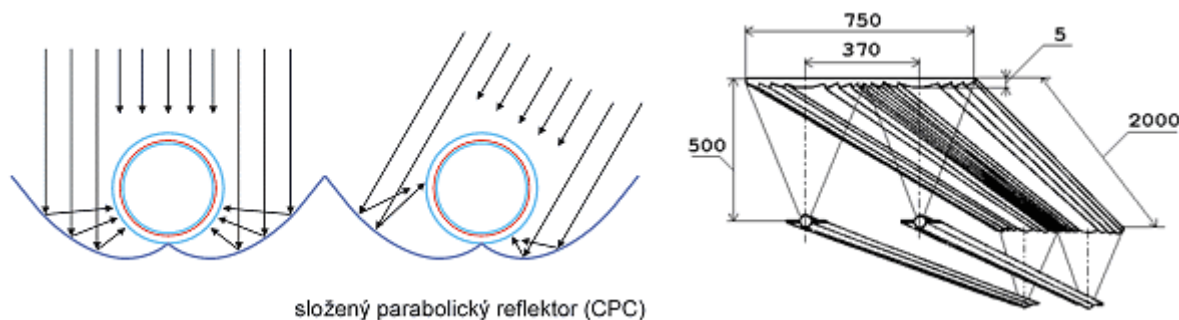
Trubkový dvojstěnný (Sydney) vakuový kolektor

Trubkový dvojstěnný vakuový kolektor je kolektor s válcovým spektrálně selektivním absorbérem (absorpční skleněná trubka) umístěným ve vakuované skleněné trubce (absolutní tlak $< 10^{-3}$ Pa). Vzhledem k problematickému zajištění přenosu tepla z absorpční trubky do teplotnosné kapaliny pomocí hliníkové teplosměnné lamely se Sydney kolektory vyznačují obecně nižší účinností při nízkých teplotách (např. oproti plochým kolektorům) a používají se především pro kombinované soustavy pro vytápění či průmyslové vysokoteplotní aplikace (provozní teploty nad 100 °C).

Soustřed'ující (koncentrační) kolektor

Jedná se o kolektor, ve kterém jsou použita zrcadla (reflektory), čočky (refraktory) nebo další optické prvky k usměrnění a soustředění přímého slunečního záření, procházejícího aperturou kolektoru, do ohniska (absorbéro) o výrazně menší ploše než je vlastní plocha apertury. Ploché kolektory vybavené vnějším zrcadlem nebo kolektory s vakuovanými Sydney trubkami opatřené reflektorem jsou rovněž považovány za soustřed'ující kolektory. Pro účinné použití koncentračních

kolektorů je základní podmínkou dostatek energie přímého slunečního záření během roku.



Obrázek 6: Koncentrační solární kolektory pro aplikace v budovách. Trubkový Sydney kolektor s reflektorem (vlevo) a solární kolektor s lineární Fresnellovou čočkou (vpravo) [4].

Účinnost kolektoru

Okamžitá účinnost kolektoru, pracujícího za ustálených podmínek, je definovaná jako poměr skutečného užitečného získaného výkonu ku solární energii dopadající na kolektor. Skutečný užitečný získaný výkon \dot{Q} se vypočítá podle vzorce

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T, (W) \quad (2.1)$$

kde \dot{m} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) je hmotnostní tok teplotnosné kapaliny kolektorem, c_p ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) měrná tepelná kapacita odpovídající střední teplotě teplotnosné látky a ΔT (K) teplotní rozdíl mezi vstupem t_i ($^{\circ}\text{C}$) a výstupem t_e ($^{\circ}\text{C}$) kapaliny do a z kolektoru.

Dopadající sluneční energie je vztažena na plochu A (m^2), která je buď plochou apertury A_a (m^2), nebo plochou absorberu A_A (m^2). Nejmenší plochou je zpravidla plocha absorpční, ale je problematické ji změřit bez rozebrání kolektoru (ploché kolektory), případně rozbití kolektoru (trubkové kolektory). Proto se běžně jako vztažná plocha nepoužívá. Plocha apertury [5] solárního kolektoru se naopak měří snadno, neboť je zvnějšku přístupná. Obecně je považována za referenční plochu kolektoru. Vztažení křivky účinnosti k ploše apertury kolektoru je vhodné z hlediska porovnání vlastností dvou kolektorů, konstrukce a kvality provedení. S použitím účinnosti kolektoru je využitý výkon dán podle následujícího vzorce

$$\dot{Q} = A \cdot G \cdot \eta, (W) \quad (2.2)$$

kde G ($\text{W}\cdot\text{m}^2$) je sluneční ozáření a η (1) účinnost kolektoru. Spojením vzorců (2.1) a (2.2) dostaneme vzorec pro okamžitou účinnost kolektoru

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T}{A_A \cdot G} \cdot (W) \quad (2.3)$$

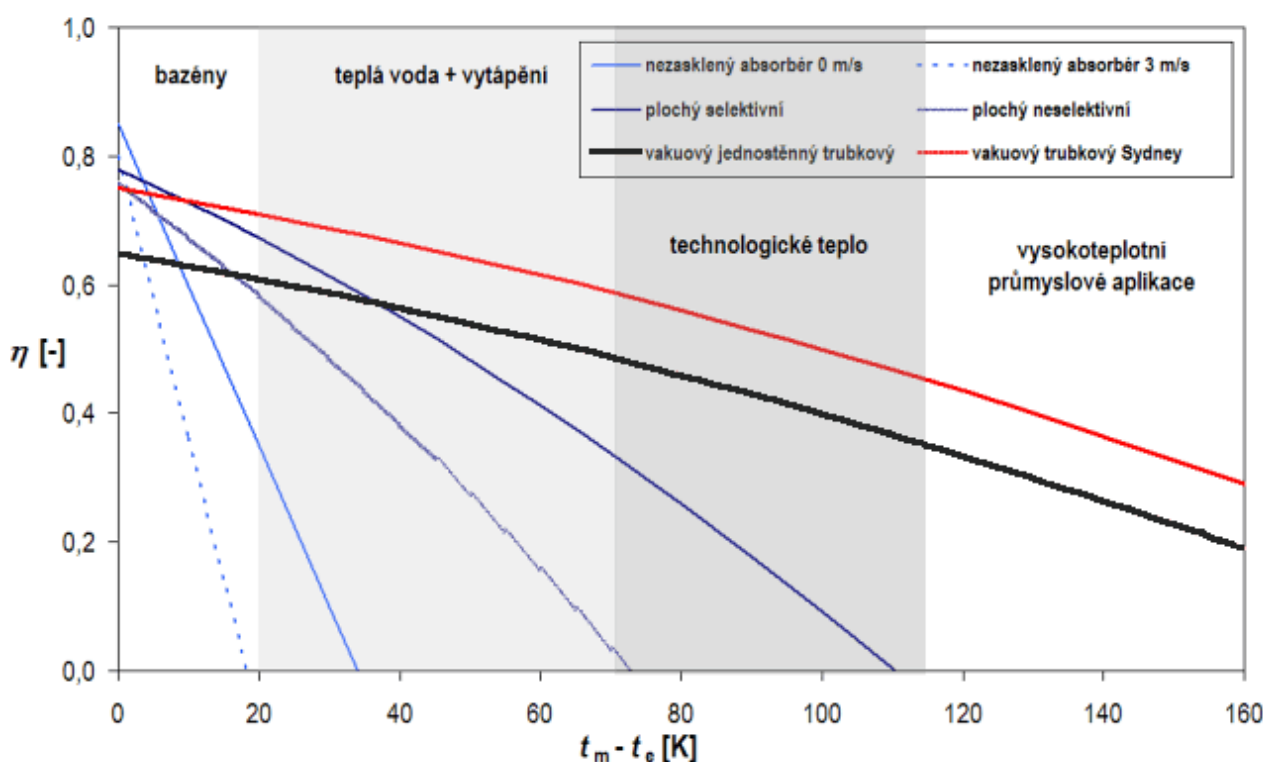
Okamžitá účinnost musí být znázorněna graficky jako funkce redukovaného rozdílu teplot T_m^* ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$). Pokud se použije střední teplota t_m ($^{\circ}\text{C}$) teplotonosné látky

$$t_m = t_i + \frac{\Delta T}{2}, (^{\circ}\text{C}) \quad (2.4)$$

tak je redukovaný rozdíl teplot

$$T_m^* = (t_m - t_o) / G, (\text{K}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}) \quad (2.5)$$

kde t_o ($^{\circ}\text{C}$) je teplota okolního vzduchu.



Obrázek 7: Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů [6]. Hodnota t_e na ose x představuje teplotu okolí t_o .

Grafické znázornění účinnosti η (1) musí být provedeno statistickým zpracováním křivky s užitím nejméně metody čtverců k získání křivky okamžité účinnosti ve tvaru

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T_m^* - (a_2 \cdot T_m^*)^2, (1) \quad (2.6)$$

kde η_0 (1) vyjadřuje účinnost při nulových tepelných ztrátách (při $T_m^*=0$), a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) a a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-2}$).

Modifikátor úhlu dopadu [7]

Křivky účinnosti a výkonu vycházejí z výsledků zkoušek tepelného chování solárního kolektoru v ustáleném stavu za definovaných podmínek, které však v běžném provozu solárního kolektoru nejsou časté. Úhel dopadu slunečních paprsků na kolektory je obecně různý vlivem proměnlivé geometrie slunečního záření během dne a roku a podíl přímého záření je proměnlivý a závislý na oblačnosti. Křivka účinnosti, resp. výkonu solárního kolektoru pro komplexní charakterizaci jeho celoroční výkonnosti (schopnosti produkovat tepelný zisk) proto nestačí. Vzhledem k tomu, že propustnost slunečního záření zasklením kolektoru i pohltivost α (1) absorpčního povrchu jsou optické vlastnosti závislé na úhlu dopadu slunečního záření θ ($^\circ$), je nutné doplnit křivku účinnosti závislostí, vyjadřující změnu optické účinnosti kolektoru η_0 (1) s úhlem dopadu přímého (směrově závislého) slunečního záření oproti kolmému dopadu. Takovou závislostí je křivka modifikátoru úhlu dopadu K_θ (1), nazývaného vhodněji jako optická či směrová charakteristika kolektoru.

Modifikátor úhlu dopadu je definován jako

$$K_\theta = \frac{\eta_{0(\theta)}}{\eta_{0(0^\circ)}}, (1) \quad (2.7)$$

kde $\eta_{0(\theta)}$ (1) je optická účinnost při obecném úhlu dopadu θ ($^\circ$) a $\eta_{0(0^\circ)}$ (1) optická účinnost při kolmém úhlu dopadu, kdy $\theta = 0^\circ$.

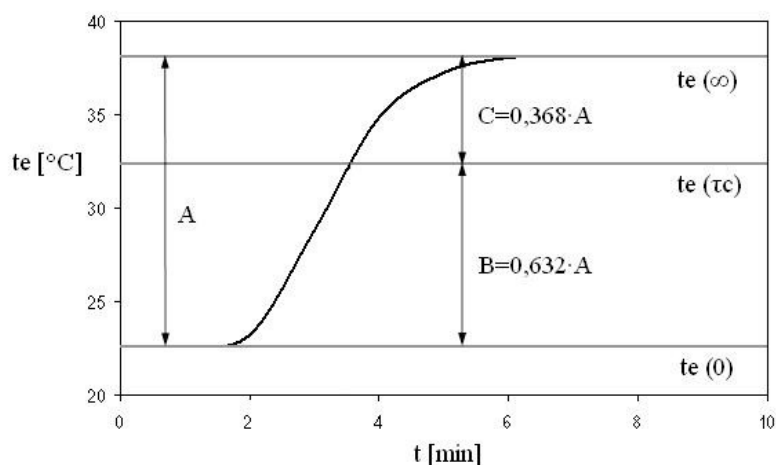
Optická charakteristika se u různých druhů i typů kolektorů obecně liší. Ploché solární kolektory (ploché zasklení, plochý absorbér) mají optické vlastnosti v obou hlavních rovinách (příčné i podélné) symetrické a mezi různými typy plochých kolektorů není výrazný rozdíl. Trubkové solární kolektory mají vzhledem k tvaru apertury a absorbéru, případně reflektoru, nesymetrickou optickou charakteristiku, která se typ od typu může navíc výrazně lišit, a hodnoty modifikátoru K je nutné

vyhodnocovat odděleně ve dvou rovinách, v podélné a příčné. Výsledná závislost modifikátoru na obecném úhlu dopadu θ (°) se stanoví jako součin modifikátorů určených pro příslušné úhly v jednotlivých rovinách.

Časová konstanta

Tepelnou setrvačnost kolektoru vlivem tepelné kapacity jeho částí je možné vyjádřit také časovou konstantou. Ta je definována jako čas potřebný ke změně teploty teplotnosné látky na výstupu z kolektoru o 63,2 % z celkové hodnoty teplotní změny z původní teploty na novou ustálenou hodnotu po skokové změně dopadajícího slunečního ozáření či vstupní teploty.

Časová konstanta závisí na provozních podmínkách, především na průtoku teplotnosné kapaliny kolektorem. Hodnoty časové konstanty běžných solárních kolektorů se pohybují řádově v minutách, a je tedy možné jejich chování pro výpočty solárních soustav s výhodou popisovat stacionárními modely.



Graf 1: Graf závislosti teploty teplotnosné látky výstupu z kolektoru na čase při měření časové konstanty.

Časová konstanta se stanovuje experimentálně za ustálených podmínek s konstantní vstupní teplotou teplotnosné látky t_i (°C) (pro počáteční čas je t_i rovno t_e) blízkou teplotě okolí t_o (°C). Solární kolektor je náhle zastíněn od dopadajícího slunečního záření a je sledován pokles výstupní teploty jako funkce času nebo naopak stíněný kolektor v ustáleném stavu je náhle vystaven slunečnímu záření a sledován je nárůst výstupní teploty na novou ustálenou hodnotu (graf 1).

Časová konstanta kolektoru τ_c (min) je potom čas, při kterém je pro ohřívání kolektoru dosaženo

rovnosti

$$\frac{t_e(\tau_c) - t_e(0)}{t_e(\infty) - t_e(0)} = 0,632 \quad (2.8)$$

a při chlazení kolektoru

$$\frac{t_e(0) - t_e(\tau_c)}{t_e(0) - t_e(\infty)} = 0,368 \quad (2.9)$$

Geometrie slunečního záření [12]

Výkon a energie slunečního záření dopadajícího na obecnou plochu je ovlivněna faktory, které lze změnit (zeměpisná šířka místa instalace, orientace plochy vůči světovým stranám, sklon plochy vůči vodorovné rovině) a které nelze změnit (pohyb Země vzhledem ke Slunci).

Zeměpisná šířka φ (°)

Jde o úhel, který svírá rovina rovníku s přímkou, procházející středem Země a příslušným bodem na povrchu Země.

Azimut plochy γ (°)

Azimut plochy γ (°) je úhel mezi průmětem normály plochy a jihem (odlišuje se od běžného chápání azimutu jako směrové odchylky od severu).

Úhel sklonu β_k (°)

Sklon β_k (°) je úhel mezi vodorovnou rovinou a rovinou plochy kolektoru.

Deklinace δ (°)

Deklinace δ (°) je ve své podstatě způsobena náklonem zemské osy vlivem precesního pohybu během rotace. Úhel náklonu se během roku mění od $-23,45^\circ$ při zimním slunovratu (odklon od Slunce) přes 0° při jarní a podzimní rovnodennosti do $23,45^\circ$ při letním slunovratu (příklon ke Slunci).

Sluneční časový úhel τ (°)

Sluneční časový úhel τ (°) je úhel zdánlivého posunu Slunce (z východu na západ) nad místními poledníky vlivem rotace Země. Z předpokladu, že Země se otočí jednou kolem své osy (360°) za 24 hodin, vyplývá, že 1 hodině odpovídá 15° .

Výška Slunce (nad obzorem) h ($^\circ$)

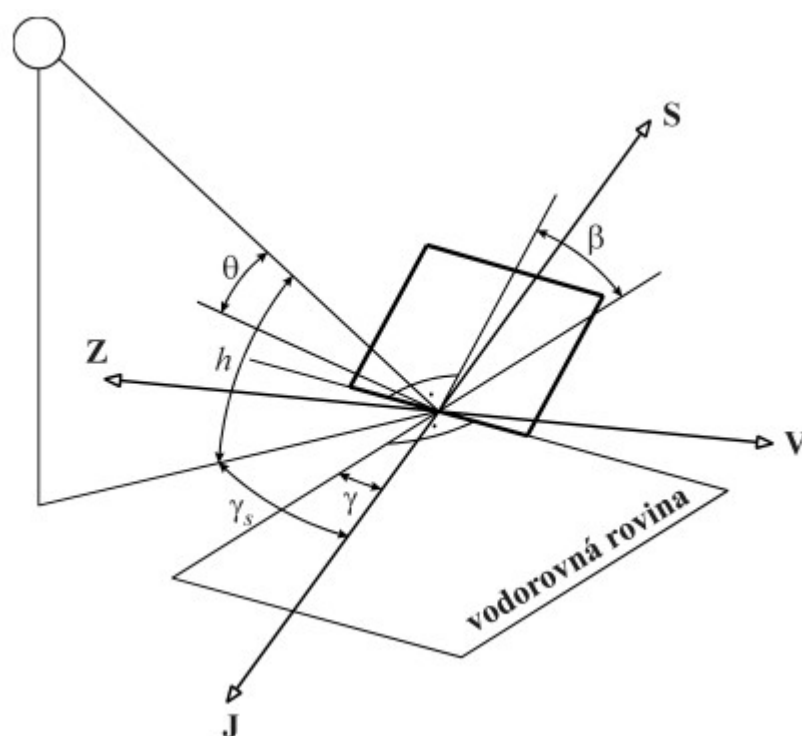
Výška Slunce (nad obzorem) h ($^\circ$) je úhel sevřený spojnici plochy a Slunce s vodorovnou rovinou. Doplnkový úhel do 90° je zenitový úhel θ_z ($^\circ$), sevřený spojnici pozorovatele a Slunce a svislicí.

Azimut Slunce γ_s ($^\circ$)

Azimut Slunce γ_s ($^\circ$) je úhel mezi průmětem spojnice plochy a Slunce a jižním směrem.

Úhel dopadu slunečního záření θ ($^\circ$)

Jde o úhel mezi spojnici plochy a Slunce a normálou plochy.



Obrázek 8: Geometrie slunečního záření dopadajícího na obecnou plochu [12].

3 Zkušební metody solárních kolektorů

Norma ČSN EN 12975-2 [4] předepisuje podmínky pro zkoušení kapalinových tepelných kolektorů. Tyto podmínky by se měly v návrhu solární laboratoře uplatnit, pokud to bude provozně možné.

Norma obsahuje kromě popisu měření tepelného výkonu i celou řadu zkoušek spolehlivosti kolektorů, které by neměly být obtížné na provedení, ale pro katedru nejsou přínosné ani zajímavé, a proto následuje jen jejich výčet s krátkým vysvětlením.

Zkoušky spolehlivosti

Zkoušky spolehlivosti slouží k ověřování mechanických vlastností, kvality konstrukce a montáže kolektoru. Cílem zkoušek je odhalení případného poškození, které by mohlo nastat během používání vlivem provozních a klimatických podmínek.

1) Zkouška na vnitřní přetlak

Slouží pro posouzení rozsahu, ve kterém absorbér odolává tlakům, které mohou v provozu nastat. Absorbér je naplněn vodou o pokojové teplotě a natlakován po dobu 15 minut na 1,5 násobek nejvyššího pracovního tlaku, který je dán výrobcem.

2) Zkouška na odolnost proti vysokým teplotám

Účelem je rychlé zhodnocení, zda kolektor odolává vysokým úrovním ozáření bez poškození jako jsou prasknutí skla, zhroucení krytu plastů, roztavení absorbéru z plastu nebo významné úsady na krytu kolektoru způsobené zplynováním materiálu kolektoru.

3) Zkouška vystavení vnějším vlivům

Zkouška simuluje podmínky, které pravděpodobně nastanou při skutečném provozu a které naznačují, zda kolektor vyhoví ostatním kvalifikačním zkouškám.

4) Zkouška odolnosti proti vnějšímu rázu

Kolektory mohou být občas vystaveny v horkých slunečných dnech náhlým přívalům deště, které způsobují prudký vnější tepelný ráz. Zkouška se zaměřuje na hodnocení schopnosti kolektoru odolávat takovým tepelným rázům bez poškození.

5) Zkouška odolnosti proti vnitřnímu rázu

Kolektory mohou být občas vystaveny náhlému vstupu chladné teploty láky v horkých slunečných dnech, což způsobí prudký vnitřní tepelný ráz. Například po období odstávky při uvádění do chodu, kdy se kolektor nachází při své klidové teplotě. Tato zkouška je zaměřena na hodnocení schopnosti kolektoru odolat těmto tepelným rázům bez poškození.

6) Zkouška proti průniku deště

Zkouška slouží k hodnocení rozsahu, ve které jsou zasklené kolektory odolné proti průniku volně padajícího deště.

7) Zkouška odolnosti proti mrazu

Zkouška hodnotí schopnost mrazuvzdorných kolektorů odolávat mrazu a cyklům zmrazování a rozmrazování.

8) Zkouška krytu kolektoru kladným tlakem

Zkouška je zaměřena na hodnocení rozsahu, ve kterém transparentní kryt kolektoru je schopen odolat kladnému tlakovému zatížení od účinků větru a sněhu.

9) Zkouška odolnosti proti nárazu

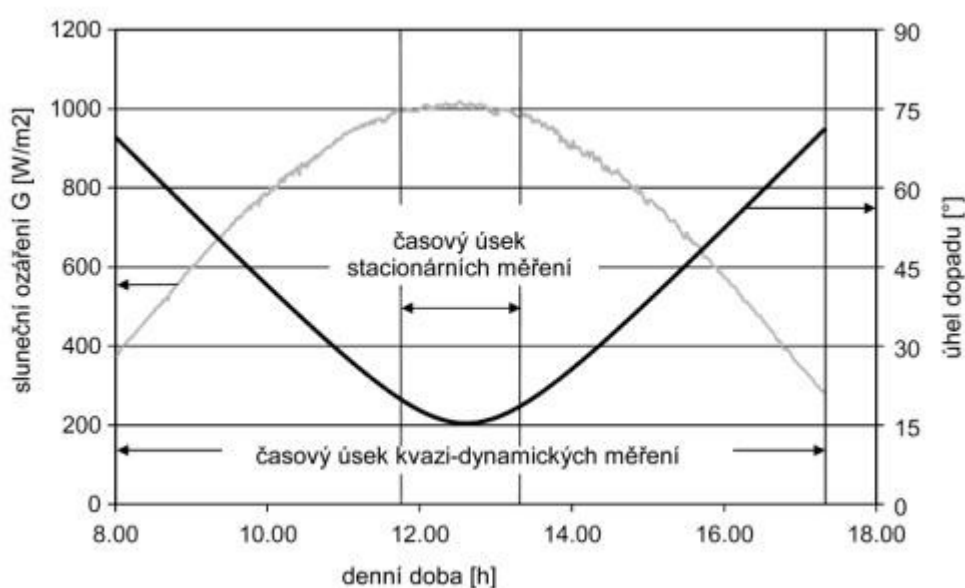
Zkouška je zaměřena na hodnocení rozsahu, ve kterém kolektor může odolat účinkům těžkých nárazů způsobených kroupami.

Podmínky měření tepelného výkonu a účinnosti při ustálených podmínkách

Podle normy [4] se účinnost kolektorů měří za ustálených podmínek, které představují:

- 1) Celkové ozáření vyšší než 700 W/m^2 (viz obrázek 9).
- 2) Čistá obloha bez mraků.
- 3) Maximální odchylka od střední hodnoty ozáření $\pm 50 \text{ W/m}^2$. To v praxi znamená, že se měření omezí na dobu cca. 1,5 hodiny (viz obrázek 9).
- 4) Maximální odchylka od střední hodnoty teploty okolního vzduchu $\pm 1 \text{ K}$.
- 5) Maximální odchylka od střední hodnoty teploty kapaliny na vstupu do kolektoru $\pm 0,1 \text{ K}$.

- 6) Maximální odchylka od střední hodnoty hmotnostního toku kapaliny $\pm 1 \%$.
- 7) Rychlost větru rovnoběžná s aperturou kolektoru musí být v rozsahu $3 \pm 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- 8) Sklon kolektoru vůči vodorovné rovině by měl být takový, aby modifikátor úhlu nekolísal víc než $\pm 2 \%$ oproti hodnotě při kolmém dopadu po dobu měření.
- 9) Před samotným měřením se provádí zkouška zajištění zmiňovaných podmínek, která trvá čtyřnásobek časové konstanty τ_c nebo ne méně než 15min.



Obrázek 9: Průběh slunečního ozáření během dne [5].

- 10) Pro vstupní teploty kapaliny kolektoru se zvolí hodnoty rovnoměrně rozložené v rozsahu kolektoru. Jedna z nich se zvolí tak, aby střední teplota v kolektoru ležela v rozmezí $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ od teploty okolního vzduchu za účelem získání η_0 (1).

Rám a umístění kolektoru

Kolektory musí být na střeše stabilně ustaveny, aby se zamezilo jejich případnému poškození v době silných větrů. Současně by bylo vhodné natáčet rovinu kolektorů vůči vodorovné poloze, kvůli zjištění účinnosti kolektorů při různých sklonech a za účelem získání křivky modifikátoru úhlu dopadu. Současně musí rám kolektoru a jeho umístění na střeše splňovat požadavky dané normou [4]:

- 1) Rám nesmí zasahovat do apertury kolektoru a ovlivňovat izolaci na zadní straně kolektoru.
- 2) Kolektor musí být umístěn alespoň 2 metry od okraje střechy.

- 3) Nejnižší hrana kolektoru musí ležet 0,5 metru nad zemí.
- 4) Kolektor by měl být situován tak, aby se vyvaroval tepelnému záření ploch sousedících s kolektorem.
- 5) Kolektor by měl být situován tak, aby se vyvaroval zastínění a odrazu záření od okolních budov (sklo, kovové části), dalších prvků střechy (hromosvody) a ostatních kolektorů.
- 6) Kolektor by měl být natočen k jihu nebo by se měl manuálně nebo automaticky natáčet za azimutem slunce.
- 7) Sklon kolektoru vůči vodorovné rovině by měl být takový, aby modifikátor úhlu nekolísal víc než $\pm 2\%$ oproti hodnotě při kolmém dopadu po dobu měření.
- 8) Pyranometr musí být na rámu instalován ve střední výšce kolektoru a ve stejné rovině jako kolektor s odchylkou max $\pm 1^\circ$.

Přístrojové vybavení k měření účinnosti kolektorů

K měření účinnosti kolektoru je zapotřebí mít vybavení určité přesnosti dané normou [4].

1) Pyranometr

Pyranometr je přístroj k měření hodnot slunečního záření, které se použijí pro výpočet účinnosti solárního kolektoru v rovnici 2.2. Podle normy by měl být třídy I [8], stanovené v ISO 9060. K dispozici má laboratoř pyranometry SG420, které odpovídají třídě přesnosti II. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně pyranometru požadované přesnosti (např. cena pyranometru třídy přesnosti I CMP6 je 35 000 Kč) se použije stávající.

2) Měření úhlu dopadu θ

Měření úhlu dopadu θ je důležité pro ověření podmínky 7 v kapitole o podmínkách měření tepelného výkonu a účinnosti. Jednoduchý přístroj k měření úhlu dopadu přímého slunečního záření lze vyrobit namontováním ukazatele kolmo k rovině desky, na níž jsou vyznačeny odstupňované soustředné kruhy. Délka stínu vrženého ukazatelem může být změřena využitím soustředných kruhů a použita ke stanovení úhlu dopadu. Přístroj musí být osazen do roviny kolektoru na jedné straně kolektoru.

3) Měření teploty teplotnosné látky na vstupu a výstupu

Teploty teplotnosné látky na vstupu a výstupu se použijí k výpočtu účinnosti kolektoru v rovnici 2.1. Teplota teplotnosné látky na vstupu by měla být podle normy [4] naměřena s nejistotou 0,1 K. Čidla musí být namontována méně než 200 mm před vstupem a 200 mm za výstupem z kolektoru. K zajištění dobrého víření látky v místě měření teploty musí být do trubky vložen oblouk, clona nebo jiný místní odpor vířící kapalinu proti směru proudění.

Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou kolektoru ΔT (K) má být určen s přesností alespoň 0,05 K. Kalorimetry MT200DS, které se používaly v minulosti, měří odchylku s přesností 0,03 K.

4) Měření teploty okolního vzduchu

Měření teploty okolního vzduchu slouží k ověření podmínky 4 v kapitole o podmínkách měření tepelného výkonu a účinnosti. Čidlo teploty by mělo být umístěno ve střední výšce kolektoru alespoň 1 m nad zemí a odstíněno od přímého i odraženého slunečního záření krytem bílé barvy. Teplota musí být měřena s přesností alespoň 0,5 K.

5) Měření objemového toku

Měření objemového toku se použije k výpočtu hmotnostního toku při znalosti teplotní závislosti hustoty teplotnosné látky. Hmotnostní tok se použije pro výpočet účinnosti kolektoru v rovnici 2.1. Přesnost měření průtoku musí být v rozmezí ± 1 % měřené hodnoty v jednotkách hmotnosti za jednotku času. Tuto vlastnost indukční průtokoměr kalorimetru MT200DS splňuje.

6) Měření rychlosti vzduchu

Tepelné ztráty kolektoru se zvětšují s rostoucí rychlostí proudění vzduchu okolo kolektoru. Vztah mezi rychlostí meteorologického větru a rychlostí vzduchu proudícího kolem kolektoru záleží na umístění zkušebního zařízení, takže rychlost meteorologického větru není parametrem užitečným pro zkoušky kolektoru. Měření rychlosti vzduchu slouží k ověření podmínky 7 v kapitole o podmínkách měření tepelného výkonu a účinnosti.

Rychlost vzduchu by měla být měřena s nejistotou do $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při venkovních zkouškách je rychlost vzduchu zřídka konstantní a často nastávají poryvy větru. V průběhu zkoušky se proto vyžaduje podle normy [4] měření průměrné rychlosti vzduchu. Tu lze získat jako aritmetický průměr zaznamenaných hodnot. V lokalitách, kde střední rychlost větru je pod $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, musí být použit generátor větru. Současně by měla být ověřena rovnoměrnost rozložení rychlosti po ploše apertury kolektoru, a proto budou namontovány dva anemometry na rám kolektoru v rovině apertury kolektoru.

7) Měření času

Čas, proběhlý při zkouškách, musí být podle normy [4] měřen se standardní nejistotou 0,2 %.

Nejmenší dílky stupnic přístrojů nesmí být větší než je dvojnásobek stanovené přesnosti.

Oběhové čerpadlo a regulace objemového toku

Oběhové čerpadlo slouží k zajištění požadovaného objemového toku teplotnosné látky kolektory. Vzhledem k přesnosti měření by mělo čerpadlo a regulátor udržet stabilní objemový tok kolektorem v rozmezí $\pm 1 \%$ nehledě na kolísání teploty a při jakékoli vstupní teplotě vybrané z provozního rozsahu.

Hmotnostní tok by měl být nastaven alespoň na $0,02 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ na m^2 plochy apertury kolektoru pokud není výrobce stanoveno jinak. Hmotnostní tok kolektorem se mezi jednotlivými zkouškami nesmí lišit o víc než 10%.

Hustota a měrná tepelná kapacita teplotnosné látky musí být známa v mezích $\pm 1 \%$ v celém rozsahu měřených teplot.

Závěr z normy ČSN EN 12975-2

Vzhledem k přísným podmínkám normy by měření všech devíti kolektorů solární laboratoře bylo velice obtížné a nákladné. Proto se návrh rozdělí do dvou samostatných oběhů. V prvním oběhu se budou měřit dva kolektory podle podmínek normy. Teplotnosnou látkou bude voda. Tento oběh bude sloužit k přesnému měření účinnosti kolektoru.

V druhém okruhu dlouhodobého sledování budou zapojeny zbylé kolektory. Teplotnosnou látkou

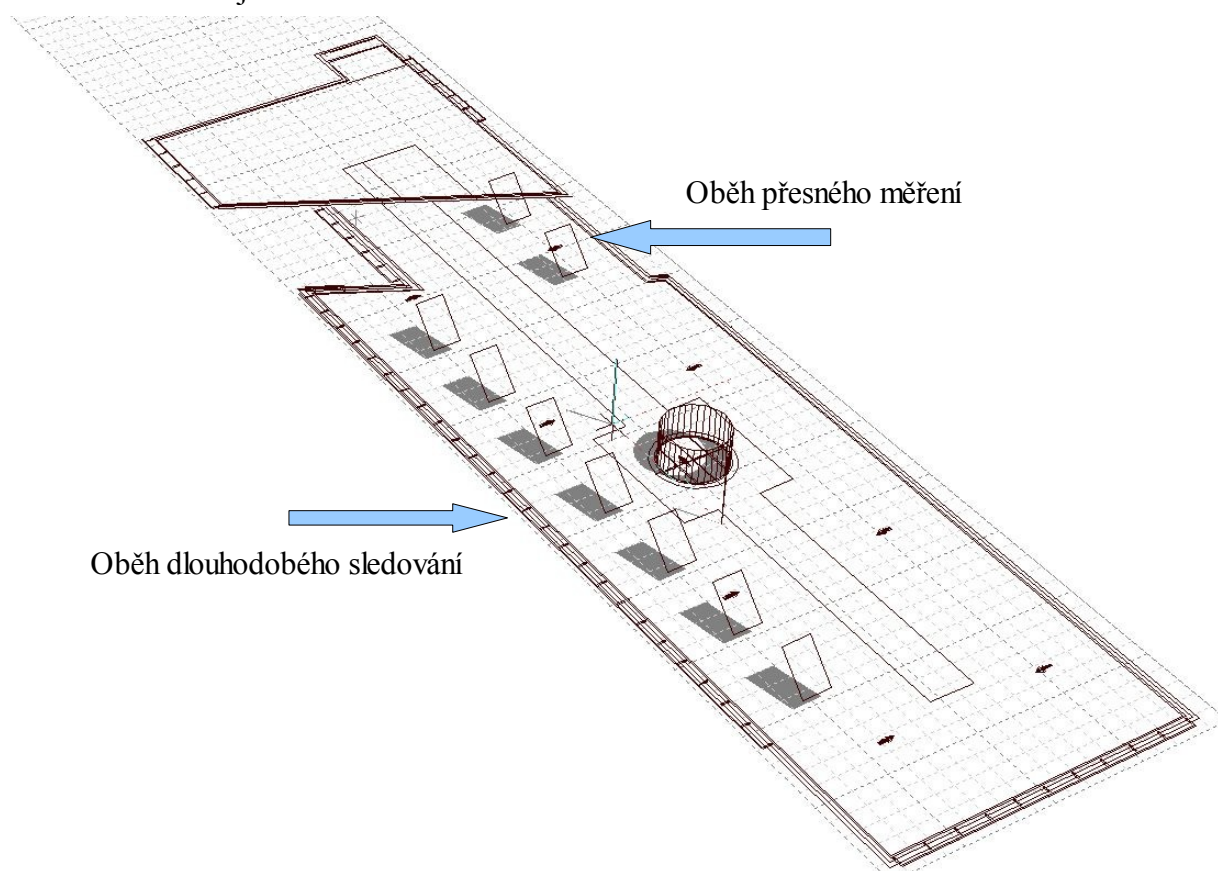
bude směs propylenglykolu. V tomto okruhu se účinnost kolektorů bude měřit kontinuálně, takže je zřejmé, že ustálené podmínky nebudou splněny stejně jako podmínka konstantní teploty na vstupu do kolektoru.

4 Prostory laboratoře a dispoziční řešení

Laboratoř dostala volné prostory na střeše nově (2014) postavené budově „G“. Bohužel bylo v projektu z provozních důvodů vyškrnuto propojení systému vytápění a TUV se solární laboratoří. Kolektory vyprodukovaná tepelná energie se proto bude muset mařit. Výkres budovy střechy budovy „G“ s umístěním kolektorů je v příloze č.4.

Stínění kolektorů

Vzhledem k dispozici střechy bude nutné kolektory řadit za sebou. V průběhu měření by nemělo docházet k zastínění plochy absorberu rámem jiného kolektoru, hromosvody nebo jinými předměty. Je zřejmé, že délka stínů je závislá na výšce Slunce nad obzorem. Ta je nejnižší v zimě, ale pokud by byl zájem o využití kolektorů pro celoroční provoz bez stínění, musela by být vzdálenost mezi jednotlivými kolektory značná, což by se projevilo na zvýšení délky přívodního potrubí, pořizovací ceny a tlakové ztráty. Proto se období, kdy zcela určitě k stínění ploch kolektorů nedojde, zvolilo od 26. března do 10. října.

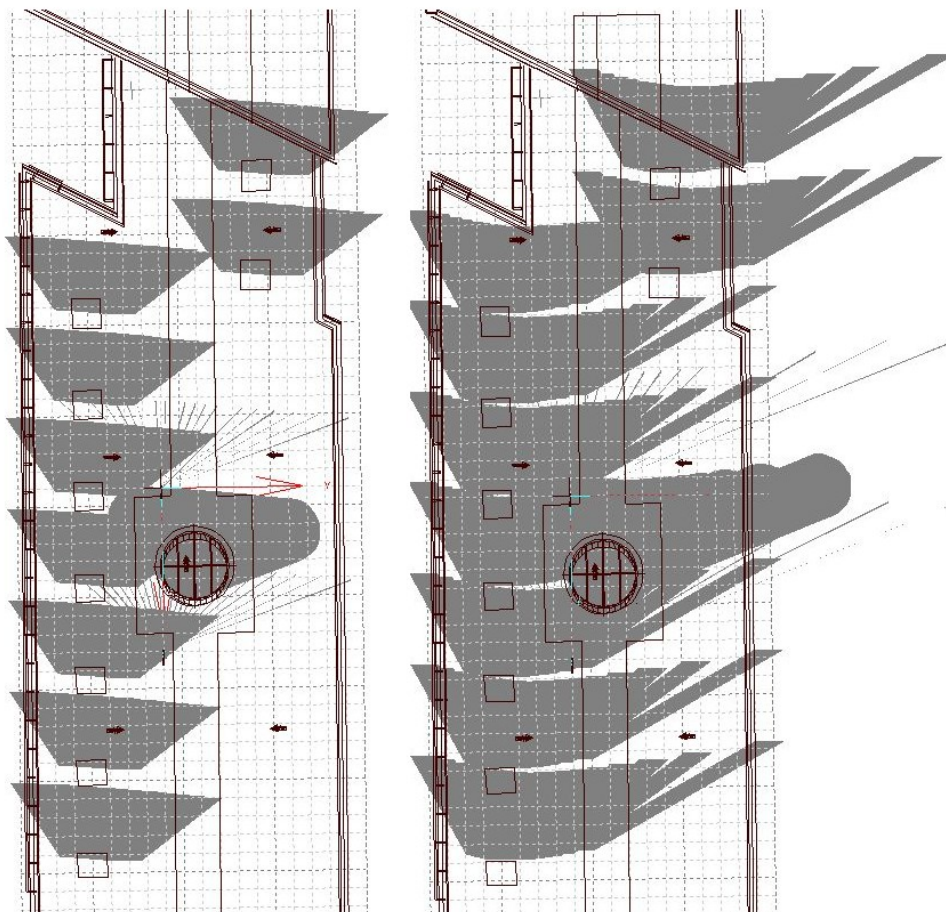


Obrázek 10: Pohled na umístění kolektorů na střeše budovy G se stíny (1.7. 10:45, sklon kolektorů 45°).

Dalším parametrem návrhu by mohl být i čas používání laboratoře. Výška nad horizontem je nejnižší na začátku a konci dne, kdy je pozice Slunce z hlediska stínů nepříznivá, proto se laboratoř bude používat až od 9:00.

K výpočtu stínů se použil program Autodesk Ecotect Analysis 2011, ve kterém byla vymodelována střecha a plochy kolektorů. Program umožňuje výpočet stínění objektu či plochy na jakémkoli místě a v jakýkoli čas v průběhu roku.

Do programu se importoval výkres střechy ve formátu dxf a poté se vytvořily obdelníky o rozměrech 2500x1600 mm, které představovaly plochy rámu kolektoru. Vhodným posouváním rámu stojanů se došlo k optimální vzdálenosti jednotlivých rámu mezi sebou.



Obrázek 11: Rozsah stínů 26. března od 9:00 do 16:00 (sklon kolektorů 45°) a 16. října od 9:00 do 16:00 (sklon kolektorů 45°)

5 Schéma solární laboratoře

Zapojení oběhu přesného měření

V oběhu přesného měření, jak již bylo zmíněno, budou zapojeny jen dva kolektory a jako teplotonosná látka se použije voda, kvůli známým teplotním závislostem termofyzikálních vlastností.

Cílem oběhu bude měřit účinnost kolektorů podle normy [4]. Jednou z podmínek měření je, aby teplota na vstupu byla držena na stejné hodnotě $\pm 0,1$ K. Tato podmínka se i při použití chlazení a regulace pomocí směšovacích ventilů bude dodržovat velmi těžko. Aby byla podmínka splněna, tak musíme teplotně zhomogenizovat vodu v celém zásobníku.
















Předpokládejme, že voda v zásobníku takto zhomogenizována není. Teplejší voda se drží nahoře díky nižší hustotě a studená u dna. Pokud uzavřeme oběh ke kolektorům ventily V1 a V4 a zapneme čerpadlo, tak studená voda bude proudit do horní části nádoby a opět klesat ke dnu. Dojde k promísení a po chvíli i k homogenizaci teploty, kterou ověříme čidly T1, T2 a T3.

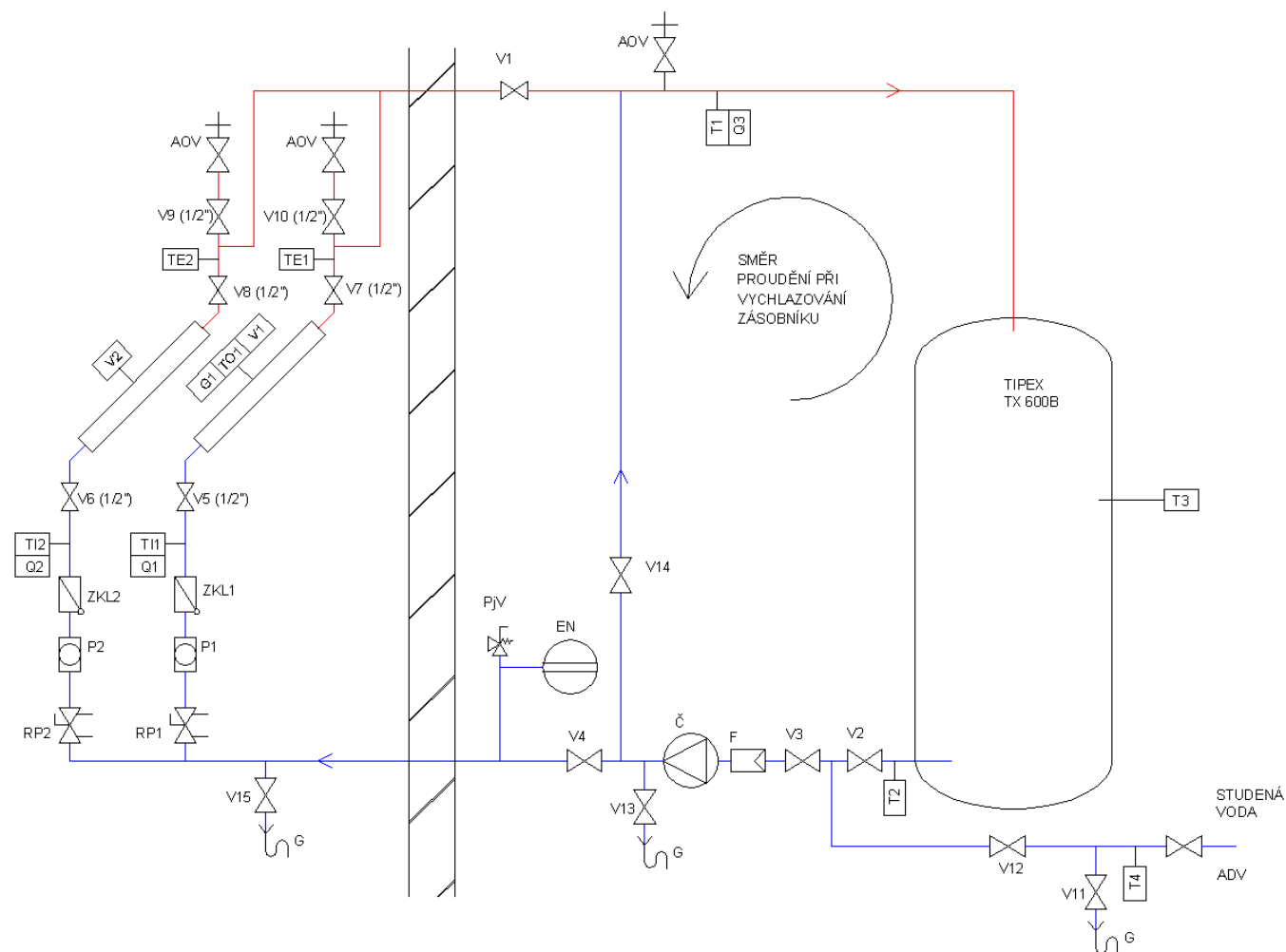
V případě, že bychom chtěli teplotu v zásobníku snížit, tak nastavíme kulové ventily tak, aby uvolnily cestu vodě (studené) ze sítě do zásobníku a ze zásobníku do kanalizace. Voda ze sítě bude vytlačovat teplejší vodu v horní části zásobníku do kanalizace a průměrná teplota v zásobníku se bude snižovat. V případě potřeby zvýšení teploty vody v zásobníku se armatura nastaví tak, aby voda procházela kolektory, jichž výkon při slunečném počasí zajistí zvyšování teploty v zásobníku. Poté by muselo opět dojít k homogenizaci teploty v celém zásobníku.

Při samotném měření se bude voda brát zespodu zásobníku a po ohřátí v kolektorech se začne vrstvit v horní části zásobníku do té doby, než dojde k výměně vody v celém objemu zásobníku.

Doba měření bude závislá na objemovém toku kolektory a objemem zásobníku. Při použití nádoby o objemu 600 litrů a při maximálním objemovém toku $323 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, na který bude oběh navržen, by doba měření byla 111 minut. Při měření jiné kombinace kolektorů nebo při měření jen jednoho, by bylo možné měřit s podmínkou konstantní teploty na vstupu do kolektoru delší čas.

Na oba rámy kolektorů by se namontovaly generátory větru, aby byla splněna podmínka 7 v kapitole o podmínkách měření tepelného výkonu a účinnosti a pyranometr v rovině plochy kolektoru. Vítr by byl měřen pomocí anemometru. Před vstupem teplotonosné látky do kolektoru je umístěn automatický regulační ventil objemového toku se servopohonem RV111R23130,4/150-15T, aby byla hlídána podmínka 6 v kapitole o podmínkách měření tepelného výkonu a účinnosti.

ZNAČKA		TYP
	PjV	POJISTNÝ VENTIL 6 BAR
	Č	ČERPADLO ST20/6
	EN	EXPANZNÍ NÁDOBA REFLEX S80-10
	V	KULOVÝ VENTIL 3/4" (1/2")
	F	FILTR 3/4"
	ZKL	ZPĚTNÁ KLAPKA 3/4"
	G	VPUSŤ
	P	PRŮHLÉDÍTKO 1/2"
	AOV	AUT. ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL VAR.PV SOLAR 6 BAR - 1/2"
	ADV	AUT. DOPOUŠŤEVÍ VENTIL IVAR.ADV 850 1/2"
	RP	REGULÁTOR PRŮTOKU RV111R23130,4/150-15T
	T	TEPLOTA PT500
	Q	OBJEMOVÝ TOK INDUKČNÍ - (MT200DS)
	V	RYCHLOST VĚTRU MIREs W01
	G	OZÁŘENÍ SG420



Obrázek 12: Schéma zapojení oběhu přesného měření.

Zapojení oběhu dlouhodobého sledování

Druhý oběh bude sloužit k dlouhodobému sledování účinnosti kolektorů. Jako teplotonosná látka bude použita směs o 50% koncentraci propylenglykolu, aby se mohlo měřit i v zimním období.

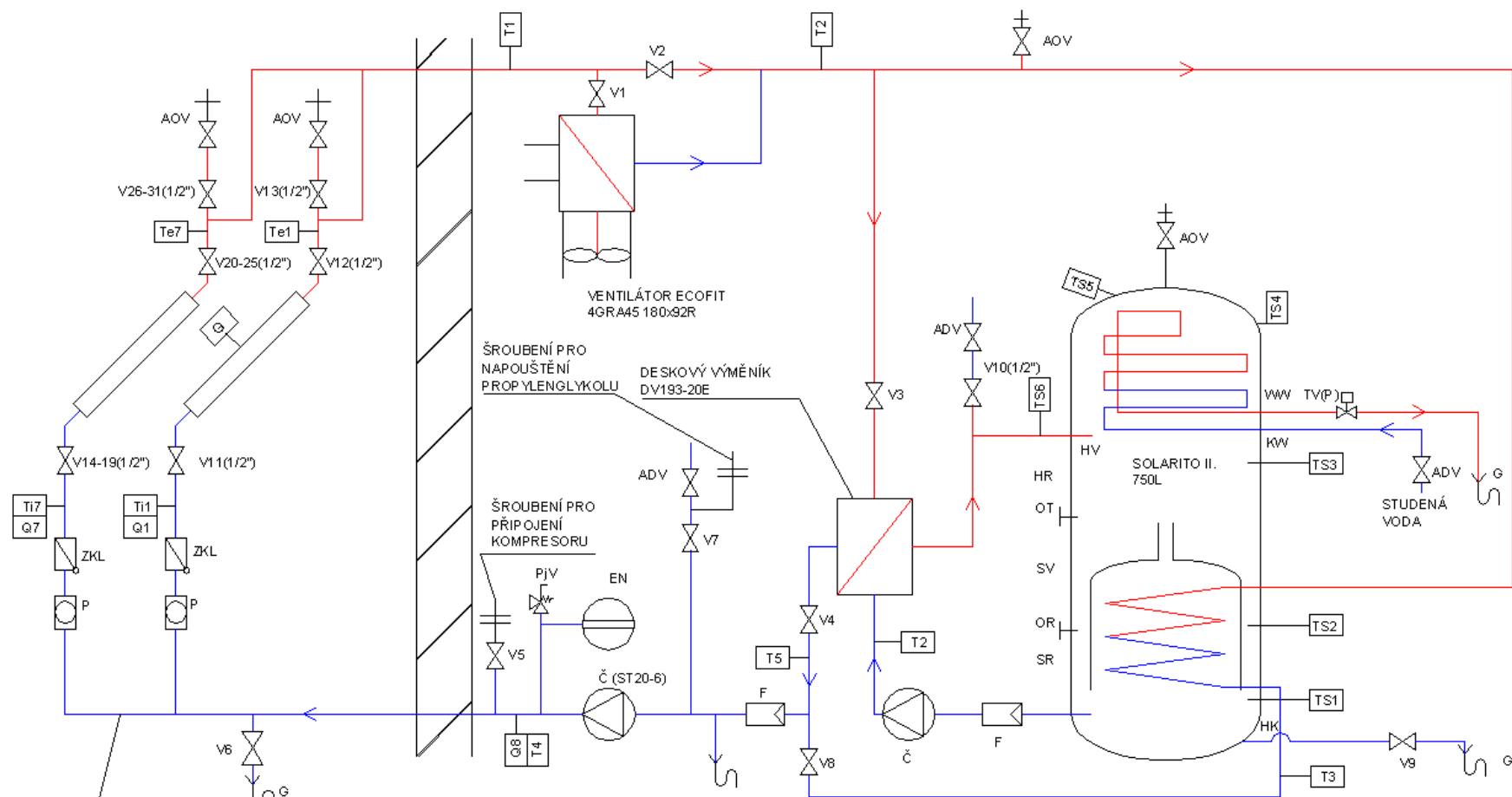
Vzniklé teplo se bude předávat buď přes výměňkovou spirálu zásobníku Solarito II a nebo přes výměník voda - voda (směs vody a propylenglykolu), kde se bude chladnější voda čerpat zespodu zásobníku přes výměník do prostřední části zásobníku.

V případě překročení teploty 95 °C v horní spirále zásobníku pro přípravu TUV průtočným způsobem dojde k uvolnění termostatického ventilu a cesty horké vody do kanalizace. Zároveň poklesne tlak ve spirále, a tak pomocí automatického dopouštěcího ventilu dojde k napuštění studené vody do spirály.

Tento způsob chlazení není moc ekologický, proto je ještě navrženo ochlazování přes výměník vzduch - voda (směs vody a propylenglykolu), který bude umístěn ještě před zásobník Solarito II. Vzduch se bude nasávat na severní terase, kde je připraven technologický otvor a vypouštět na jižní terase. Smyčka přes výměník se bude dát uzavřít kulovými ventily.

Vypouštění oběhu bude možné buď vypouštěcím ventilem na střechu budovy „G“ a nebo přes vypouštěcí ventil do přistavené nádoby v solární laboratoři. Do nádoby bude směs propylenglykolu a vody naháněna kompresorem, pro který bude v laboratoři připraven vývod se šroubením.

Způsob zapojení kolektoru k hlavní větvi potrubí je stejný jako u předchozího oběhu.



PŘIPOJENÍ DALŠÍCH 5
KOLEKTORŮ
STEJNÝM ZPŮSOBEM

ZNAČKA		TYP	ZNAČKA		TYP
	PJV	POJISTNÝ VENTIL		AOV	AUT. ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL
	Č	ČERPADLO		ADV	AUT. DOPUŠŤEVÍ VENTIL
	EN	EXPANZNÍ NÁDOBA		RP	REGULÁTOR PRŮTOKU
	V	KULOVÝ VENTIL		T	TEPLOTA
	F	FILTR		Q	OBJEMOVÝ TOK
	ZKL	ZPĚTNÁ KLAPKA		PŠ	PŘÍMÉ ŠROUBENÍ
	P	PRŮHLÉDÍTKO		G	OZÁŘENÍ
	TV	TERMOSTATICKÝ VENTIL			

Obrázek 13: Schéma oběhu pro dlouhodobé sledování.

Výběr teponosné látky

Pro přenos tepla v kapalinových solárních soustavách z místa zdroje do místa spotřeby se využívá voda a nebo častěji nemrznoucí směs s ohledem na ochranu soustavy v zimním období před poškozením mrazem.

Teponosná látka musí splňovat řadu požadavků pro zajištění dlouhodobě bezproblémového provozu solárních soustav:

- nízký bod tuhnutí (nejlépe kolem -25 až -30 °C),
- dobré tepelně-fyzikální vlastnosti (tepelná kapacita, viskozita),
- ochrana proti korozi,
- kompatibilita s těsnícími materiály,
- ekologické aspekty (netoxická, biologicky rozložitelná),
- dlouhodobá stálost vlastností (teplotní odolnost),
- přiměřená cena.

Voda

Voda je netoxická, nehořlavá a levná. Je ideální z hlediska vysoké tepelné kapacity a tepelné vodivosti a nízké viskozity. Voda má nízký bod varu a vysoký bod tuhnutí, což ji předurčuje pro použití pouze v sezónních solárních soustavách s letním provozem. Voda může způsobovat korozi, pokud její pH (hladina kyselosti-zasáditosti) není udržována na neutrální hodnotě 7 a dále samozřejmě při nevhodné kombinaci faktorů jako obsah kyslíku, teplota, koncentrace dalších rozpuštěných chemických látek či elektrochemický potenciál přítomných kovů. V případě použití vody s vysokým obsahem minerálů (tvrdá voda) může docházet k vylučování minerálních usazenin při vyšších teplotách v kolektorech (zarůstání). Velkou výhodou vody pro vyhodnocování účinností kolektorů je její známá závislost termofyzikálních vlastností na teplotě.

Glykolové nemrznoucí směsi

Glykolové nemrznoucí směsi mohou být dvojího druhu. Směs etylenglykolu nebo propylenglykolu

a vody, zpravidla v objemovém ředění 40-50% glykolu podle potřebné teploty tuhnutí. Etylenglykol je vysoce jedovatý a měl by být používán pouze v takových soustavách, kde je primární okruh oddělen od pitné vody dvěma teplosměnnými plochami.

V současné době se od jeho použití upouští a upřednostňuje se směs netoxického propylenglykolu a vody s potřebnými inhibitory koroze. Korozivita čisté směsi propylenglykol-voda je totiž významně vyšší než u čisté vody nebo čistého glykolu. Inhibitory, rozpuštěné v kapalině, umožňují zamezit korozi vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovů. Zatímco solární soustavy obsahují různé materiály (měď, bronz, ocel, litina), v současné době není k dispozici univerzální inhibitor a problém se zpravidla řeší kombinací několika různých (organických, anorganických) inhibitorů s ochranným potenciálem pro specifický kov.

Nemrznoucí směsi propylenglykolu a vody mají sklon ke stárnutí vlivem vysokých teplot při stagnačních podmínkách v kolektorech. Stagnací nazýváme stav, kdy z kolektoru není odebíráno teplo, dochází k přehřívání kolektoru a teploty dosahují hodnot až 200 °C (kvalitní ploché kolektory) nebo 300 °C (kvalitní vakuové kolektory). Při nárůstu teploty nad bod varu směsi dochází k tvorbě bublinek páry a vypařování kapaliny.

U dobře navržených kolektorů a soustav dochází k přeměně v páru pouze u malého množství směsi, vznikající pára vytlačí ostatní kapalinu z kolektorů do míst o nižší teplotě (vytlačený objem by měla pohltit expanzní nádoba). Rozpuštěné inhibitory (pevné neodpařitelné látky) se vylučují na stěnách. Při ochlazení kolektoru kapalina zpětně kondenzuje a zaplavuje kolektor.

Aby při opakovaném působení stagnačních podmínek nedocházelo k postupnému vyloučení inhibitorů na stěny potrubí v kolektorech a tím k degradaci jak teplotnosné látky, tak kolektorů, měla by být kvalitní teplotnosná látka schopná zpětně rozpustit vyloučené inhibitory. Postupující degradace teplotnosné látky se projevuje změnou barvy (tmavnutí kapaliny), pomalu se snižující hodnotou pH a tvorbou pevných látek na stěnách potrubí kolektorů (vylučování inhibitorů). U propylenglykolu dochází k rozkladu v důsledku oxidačních reakcí, tvoří se kyseliny a při opakovaném přehřívání dochází k poklesu pH kapaliny pod hodnotu 7. Rychlost degradace propylenglykolu je přímo úměrná teplotním stresům a obsahu kyslíku.

Proto se doporučuje vždy sledovat hodnotu pH, bod tuhnutí a koncentraci inhibitorů pro včasnou výměnu a ochranu okruhu před zvýšenou korozí.

Oproti vodě používané jako teplotnosná kapalina v běžných otopných soustavách má vodní směs propylenglykolu nevýhodné termofyzikální vlastnosti:

- nižší tepelnou kapacitu,
- nižší tepelnou vodivost,
- větší objemovou roztažnost,
- vyšší kinematickou viskozitu s výraznou teplotní závislostí.

Znalost vlastností nemrznoucí směsi je nutná pro stanovení tlakových ztrát v potrubí (viskozita, hustota), předávaného výkonu solární soustavy (měrná tepelná kapacita, hustota), návrhu expanzních nádob (hustota, součinitel teplotní objemové roztažnosti).

Termodynamickou teplotu tuhnutí T_t lze stanovit z rovnice [9]

$$\frac{T_t}{273,15} = A_0 + A_1 \cdot \xi + A_2 \cdot \xi^2, (K) \quad (5.1)$$

kde A_0 až A_2 jsou konstanty uvedené i s rozměry v tabulce 1 a ξ (1) je hmotnostní koncentrace glykolu v roztoku.

Hustotu ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), tepelnou vodivost λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a měrnou tepelnou kapacitu c_p ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) lze vypočítat podle obecného polynomu, kde daná vlastnost je reprezentována členem P_x

$$P_x = A_1 + A_2 \cdot \xi + A_3 \frac{273,15}{T} + A_4 \cdot \xi \frac{273,15}{T} + A_5 \cdot \left(\frac{273,15}{T} \right)^2, \quad (5.2)$$

kde T (K) je termodynamická teplota směsi.

Podobný polynom je použitelný i pro dynamickou viskozitu a Prandtlovo číslo. Daná vlastnost je opět reprezentována členem P_x

$$\ln(P_x) = A_1 + A_2 \cdot \xi + A_3 \frac{273,15}{T} + A_4 \cdot \xi \frac{273,15}{T} + A_5 \cdot \left(\frac{273,15}{T} \right)^2. \quad (5.3)$$

Konstanty A_0 až A_5 k jednotlivým vzorcům jsou v tabulce 1.

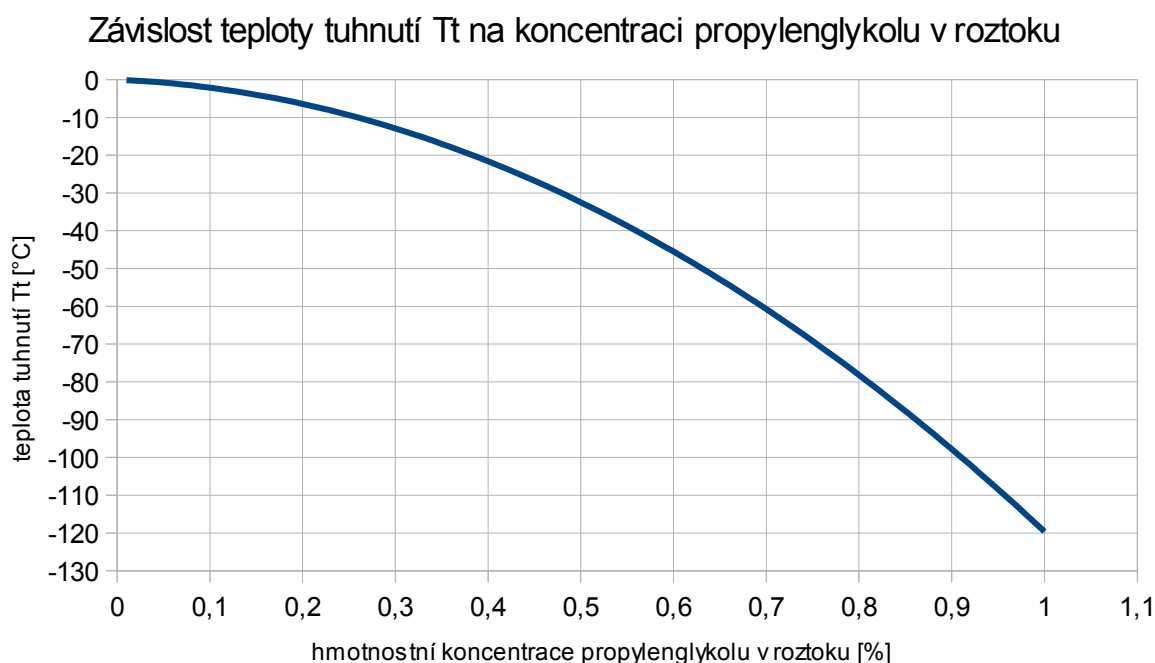
Konstanta A	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]	λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	μ [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]	Pr [-]	T_t [K]
0	-	-	-	-	-	1
1	508,41	4,48	1,19	-1,03	6,66	-0,04
2	-182,41	0,61	-1,49	-10,03	-6,99	-0,4
3	965,77	-0,71	-0,7	-19,93	-18,55	-
4	280,29	-1,94	1,14	14,66	12,05	-
5	-472,23	0,48	0,07	14,62	14,48	-

Tabulka 1: Konstanty k výpočtům termofyzikálních vlastností směsi propylenglykolu a vody.

Vodní směsi propylenglykolu mohou obsahovat inhibitory, které zamezují korozi vytvořením tenké ochranné vrstvy na povrchu kovů. Pro zajištění ochrany proti korozi je nutné odstranit z kapaliny plyny a používat pro rozvody materiály s nízkým vzájemným elektrochemickým potenciálem a udržet pH kapaliny nad hodnotou 7.

Hmotnostní koncentrace propylenglykolu ξ se volí podle potřebné teploty tuhnutí T_t . Pro teplotu tuhnutí -32°C by poměr ξ vycházel 50%. Závislost teploty tuhnutí T_t je vidět v grafu 2.

Teplonosná kapalina může v souvislosti s možným přehříváním degradovat. U propylenglykolu dochází vlivem nadměrného tepelného zatížení k rozkladu v důsledku oxidačních reakcí, tvoří se kyseliny, a při opakovaném přehřívání dochází k poklesu pH kapaliny z původní hodnoty okolo 8 pod hodnotu 7 (mezní hodnota 6,8), což se projevuje změnou barvy (tmavnutí kapaliny). Rychlost degradace propylenglykolu je přímo úměrná teplotním stresům a obsahu kyslíku. Doporučuje sledovat hodnotu pH, případně bod tuhnutí (refraktometry) pro včasnou výměnu a ochranu solárního okruhu před zvýšenou korozi.



Graf 2: Závislost teploty tuhnutí T_t na koncentraci propylenglykolu v roztoku.

Výběr teplotnosné kapaliny

Oba typy teplotnosné kapaliny mají svoje výhody a nevýhody. Voda je levná ($89 \text{ K}\cdot\text{m}^{-3}$), nemusela by se nikde v laboratoři skladovat a dala by se bez problémů ze systému odebírat a vracet. Má stále a známé závislosti termofyzikálních vlastností na teplotě, což by mohlo být výhodné pro přesné měření účinností kolektorů. Její nevýhodou je zmiňovaná vysoká teplota tuhnutí, obsah minerálů a případný vznik koroze.

Cena směsi propylenglykolu a vody se v hmotnostním poměru 50% pohybuje podle různých výrobců od 10 000 po 40 000 $\text{K}\cdot\text{m}^{-3}$. Kromě ceny a horších termofyzikálních vlastností pro přenos tepla má směs nevýhodu ve špatném určování vlastností důležitých pro výpočet účinnosti kolektoru. Vlivem stárnutí směsi se mohou měnit hodnoty termofyzikálních vlastností a tím se do výpočtů dostanou nepřesné hodnoty, které zkreslí naměřené výsledky.

Obě teplotnosné látky budou použity v solární laboratoři v různých obězích.

Hmotnostní tok teplotnosné kapaliny

Podle normy [4] musí být hmotnostní tok kapaliny kolektorem seřízen přibližně na $0,02 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ na metr čtvereční hrubé obrysové plochy kolektoru pokud výrobce neuvádí jinak.

VÝROBCE		Reflex	Sonnenkraft	Reflex	Thermosolar
NÁZEV	NAU	FSC 24	VK25	NBC 18	H 300
typ	plochý deskový	plochý deskový	vakuový tubicový	plochý deskový	plochý deskový
Doporučený objemový tok kapaliny [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]		140	106	100	100
Plocha apertury [m^2]	2,43	2,204	2,23	1,57	1,78
Objemový tok H_2O dle normy [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	183	166	168	118	134
Objemový tok směsi propylenglykol voda podle normy [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	184	167	169	119	135

VÝROBCE	Thermosolar	Sonnenkraft	Viessmann	Viessmann	Viessmann
NÁZEV	H 400V	SK 500 N	VITOSOL 300 D20	VITOSOL 200 D21	VITOSOL 100 s 1,7
typ	plochý vakuový	plochý deskový	vakuový tubicový	vakuový tubicový	plochý deskový
Doporučený objemový tok kapaliny [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	100	80	75	60	40,2
Plocha apertury [m^2]	1,84	2,211	2,14	2,14	1,7
Objemový tok H_2O dle normy [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	138	166	161	161	128
Objemový tok směsi propylenglykol voda podle normy [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	139	168	162	162	129

Tabulka 2: Požadované objemové průtoky jednotlivých kolektorů.

Laboratoř bude mít k dispozici dva od sebe oddělené oběhy.

Návrh oběhu přesného měření se provede pro kombinaci dvou kolektorů s nejvyšším objemovým tokem, aby se při případné výměně kolektoru zamezilo situaci, kdy navržený průtok nebude stačit.

Stejným způsobem se navrhne druhý oběh pro dlouhodobé sledování, kde bude zapojeno 7 kolektorů (v tabulce je uvedeno deset kolektorů, ale kolektor Reflex NBC 18 je v současné době nefunkční).

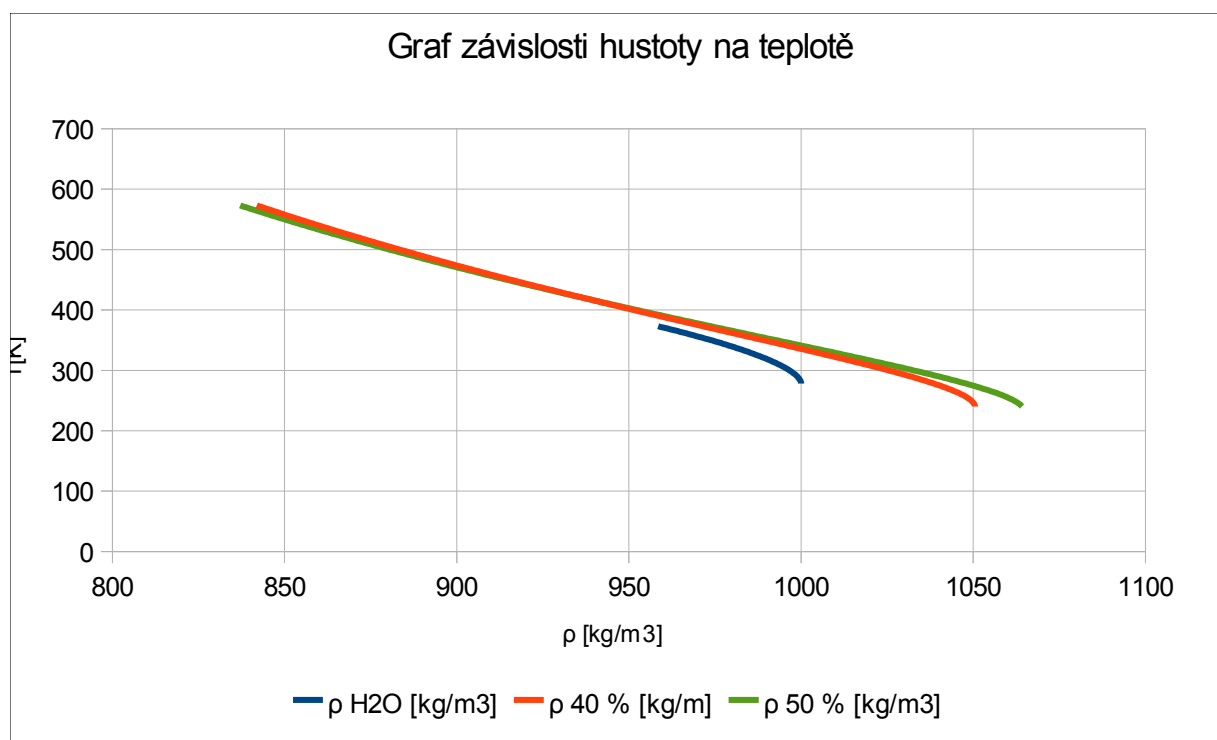
Hustota vody se zvolí pro teplotu 100°C při barometrickém tlaku, kdy lze uvažovat nejnížší hodnotu hustoty a tím nejvyšší objemový tok a hustota směsi propylenglykolu a vody při teplotě 130°C.

Obě hodnoty hustoty byly vypočteny z rovnice 5.2.

Potřebné objemové toky kolektorů uvádím v tabulce č. 2. Červeně jsou označeny objemové toky, které budou použity pro návrh.

Nejvyšší objemový průtok kombinace dvou kolektorů je 323 l·h⁻¹ a pro kombinaci sedmi kolektorů 809 l·h⁻¹.

V grafu 3 je vidět závislost hustoty na teplotě pro vodu a 40% a 50% směs vody a propylenglykolu vypočtená z rovnice 5.2.



Graf 3: závislost hustoty na teplotě pro vodu a směs propylenglykolu a vody

Potrubí

Potrubí musí být odolné v první řadě teplotně odolné látce a vyhovovat teplotním a tlakovým poměrům v solární soustavě.

U solárních soustav s pokročilými selektivními kolektory pro celoroční využití sluneční energie je nutné navrhovat potrubí kovové (měď, ocel) kvůli vysokým teplotám (až 250 °C) a tlakům (do 1 MPa). Použití ocelových trubek je principiálně možné, nicméně montáž je velmi pracná a zdoluhavá (svařování, ohýbání, řezání závitů). Ocelové trubky se používají především u velkých solárních soustav, kde měděné potrubí ve velkých světlostech je velmi drahé. Nevhodné jsou pozinkované ocelové trubky vzhledem ke korozivním reakcím zinku s nemrznoucí směsí na bázi glykolů.

Dimenzování potrubí [10]

Návrh světlosti potrubí solární soustavy může významně ovlivnit celkovou tlakovou ztrátu, především u menších solárních soustav s trubkovými výměníky, které nevnašejí do soustavy významný hydraulický odpor.

Světlosti potrubí se předběžně stanoví tak, aby průtočná rychlost v přívodním potrubí byla pokud možno nejvýše 0,5 m·s⁻¹ a v cirkulačním potrubí nejvýše 0,3 m·s⁻¹ (u měděného potrubí alespoň 0,2 m·s⁻¹).

Nejvyšší průtočné rychlosti [11], které nesmí být překročeny, jsou pro měděné potrubí 0,5 m·s⁻¹, pro nerezové 1 m·s⁻¹ a pro ocelové 0,8 m·s⁻¹.

Vyjdeme-li ze vztahu rovnice kontinuity

$$\dot{m} = S \cdot w \cdot \rho, \quad (5.4)$$

kde \dot{m} (kg·s⁻¹) je hmotnostní tok, ρ (kg·m⁻³) hustota média, S (m²) průtočný průřez a w (m·s⁻¹) rychlost média, tak rovnici pro světlost potrubí d (m) si snadno odvodíme

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{Q}}{\pi \cdot w}}, (m) \quad (5.5)$$

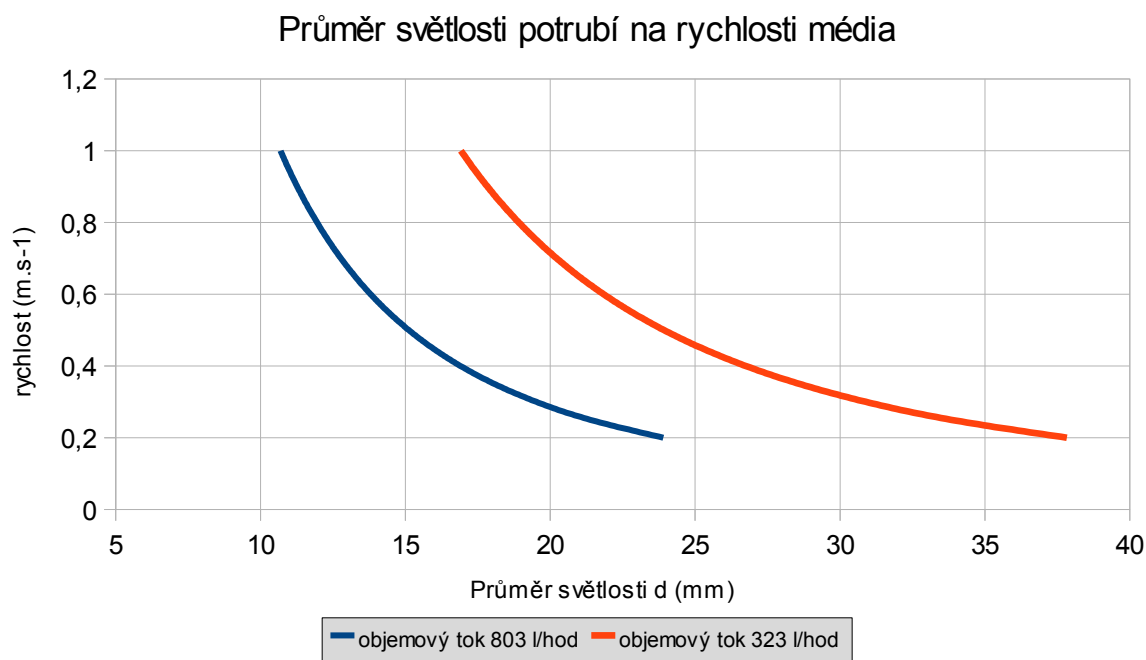
Protože jsme si již definovali objemový tok pro nejméně výhodnou (nejnižší) hustotu, budeme s touto hustotou počítat i pro výpočet potrubí a použijeme námi zvolený objemový tok Q (m³·s⁻¹).

Světlost potrubí by pro rychlost $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vycházela u oběhu s dvěma kolektory 24 mm a u oběhu se sedmi kolektory 38 mm.

Závislost světlosti potrubí na rychlosti proudění je vidět v grafu 4. Měděné potrubí se nevyrábí ve všech světlostech, a proto se musí vybrat nejbližší světlost podle normy ČSN EN 1057. Pro oběh se dvěma kolektory by zvolilo potrubí o světlosti 25 mm a tloušťce 1 mm a pro oběh se sedmi kolektory potrubí o světlosti 39 mm a tloušťce 1,5 mm.

Požizovací cena pro takto dimenzované potrubí by při uvažování 116 metrů potrubí o světlosti 39 mm a tloušťce 1,5 mm (cena 603 Kč/m) a 70 metrů o světlosti 25 mm a tloušťce 1 mm (cena 190 Kč/m) vyšla na 83 248 Kč.

Proto se spokojíme s podmínkou, aby rychlost teplosné látky v potrubí nepřesáhla rychlost $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Jestliže zvolíme trubky o světlosti 26 mm a tloušťce 1 mm (cena 179 Kč/m) a o světlosti 18 mm a tloušťce 1 mm (cena 111 Kč/m) vyjde pořizovací cena trubek na 28 534 Kč.

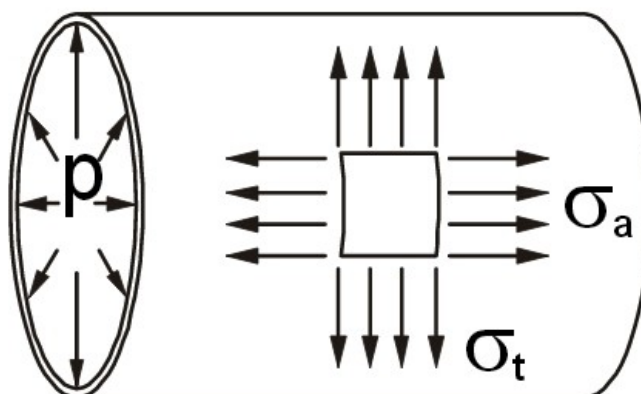


Graf 4: Závislost světlosti potrubí na rychlosti média pro oba oběhy.

Kontrola napětí v potrubí

Vlivem přetlaku a teplotního namáhání v potrubí vzniká obvodové a axiální napětí. Hodnota ekvivalentního napětí by neměla převyšovat dovolené napětí daného materiálu. Pro jistotu se

provede kontrola pomocí výpočtu u potrubí s větší světlostí, kde se předpokládá větší namáhání.



Obrázek 14: Tečné a axiální napětí od vnitřního přetlaku na trubku potrubí [15].

Tečné napětí σ_t se spočítá podle vzorce [15]

$$\sigma_t = \frac{p_e \cdot (d + 2 \cdot s)}{2 \cdot s}, (MPa) \quad (5.6)$$

kde s (mm) je tloušťka potrubí. Pro hodnoty $p_e = 0,5$ MPa, $d = 26$ mm a $s = 1$ mm vychází tečné napětí $\sigma_t = 7,00$ MPa. Axiální napětí σ_a (MPa) se spočítá podle vzorce

$$\sigma_a = \frac{p_e \cdot (d + s)}{4 \cdot s}, (MPa) \quad (5.7)$$

Pro zadané hodnoty vychází 3,50 MPa. Teplotní axiální napětí $\sigma_{\Delta t}$ (MPa) ve stěně potrubí způsobené změnami teploty je možné určit z rovnice

$$\sigma_{(\Delta t)} = \alpha_{(t_{max}-t_0)} \cdot (t_{max} - t_0) \cdot E, (MPa) \quad (5.8)$$

kde $\alpha_{(t_{max}-t_0)}$ (K^{-1}) je součinitel teplotní délkové roztažnosti, která se pro měď rovná $17 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ a E (MPa) je Youngův modul pružnosti v tahu, který je pro měď $1,15 \cdot 10^5$ MPa. Teplotní axiální napětí potom při dosazení teplotního rozdílu 110 K vychází 0,22 MPa.

Ekvivalentní napětí σ_{ekv} (MPa) ve stěně trubky se spočítá z rovnice

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma_t^2 + (\sigma_a - \sigma_{(t_{max}-t_0)})^2 - \sigma_t \cdot (\sigma_a - \sigma_{(t_{max}-t_0)})}, (MPa) \quad (5.9)$$

Ekvivalentní napětí po dosazení vychází 6,07 MPa. Pro vyhodnocení úrovně napětí musí být

porovnáno s napětím dovoleným σ_{DOV} (MPa) podle rovnice

$$\sigma_{DOV} = \frac{R_e}{k} \geq \sigma_{ekv}, (MPa) \quad (5.10)$$

kde R_e je mez kluzu (pro měď $R_e = 60$ MPa) a k je konstanta bezpečnosti, kterou se běžně volí 1,5. Tato podmínka je splněna.

Vedení potrubí [12]

Při kladení rozvodů potrubí je nutné věnovat pozornost tepelné roztažnosti potrubí a zohlednit délkovou dilataci promyšleným vedením a správným umístěním pevných bodů, kluzných uložení a dilatačních prvků. Na každých 10 až 15 metrů vedení rozvodů by měl být umístěn dilatační prvek (smyčky, ohyby, kompenzátory), aby se zabránilo škodám a případným netěsnostem vzniklým vnitřním pnutím. Délka potrubí vedeného venkovním prostředím by měla být minimalizována (drahá izolace odolná UV záření, tepelné ztráty). Kovová potrubí by měla být připojena na uzemnění domu.

Kvůli snížení nákladů na kompenzaci teplotní délkové dilatace se použije kompenzátor typu "L" (obrázek 15). PB na obrázku 15 značí pevný bod a KU kluzné uložení.

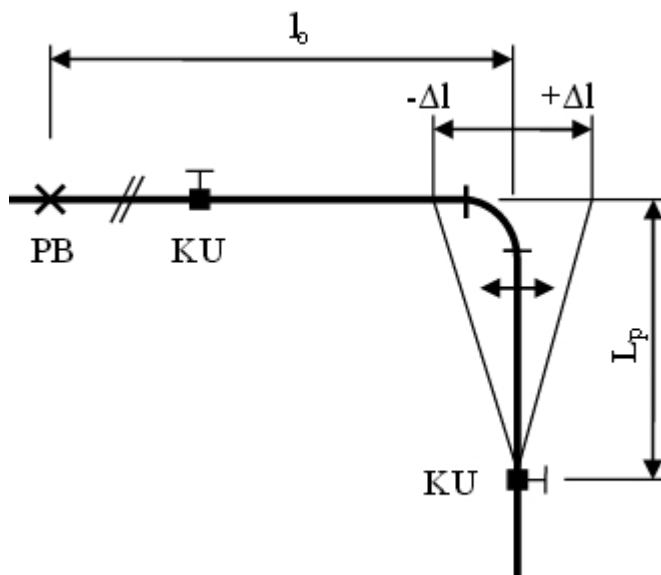
Výpočet délky kompenzátorů [16] se provede podle vzorce

$$L_p = C \cdot \sqrt{\Delta l \cdot (d + 2 \cdot s)}, (mm) \quad (5.11)$$

kde C je materiálová konstanta podle normy [17] (pro měď $C = 61$) a Δl je délková teplotní změna spočítaná podle vzorce

$$\Delta l = \alpha_{(t_{max} - t_0)} \cdot (t_{max} - t_0) \cdot l_0, (mm) \quad (5.12)$$

kde l_0 je kompenzační délka. Návrh umístění kompenzátorů je v příloze č. 4.



Obrázek 15: Schéma kompenzátoru typu "L".

Tlakové poměry v solární soustavě

Solární soustava je provozována v rozmezí od plnicího tlaku p_0 (kPa) při stavu za studena při minimální provozní teplotě, zpravidla teplotě plnění $t_0=10$ až 20°C do maximálního provozního tlaku p_e (kPa) za tepla při maximální provozní teplotě soustavy $t_{\max} = 90$ až 130°C . Plnicí tlak p_0 se vypočte podle vzorce

$$p_0 = h_s \cdot \rho \cdot g + p_d, (\text{kPa}) \quad (5.13)$$

kde h_s (m) je výška sloupce teplotnosné látky nad místem připojení expanzní nádoby. Minimální tlak p_d (kPa) se zpravidla volí v rozsahu od 20 do 150 kPa podle druhu provozu soustavy. Pokud se jedná o soustavy, u kterých se předpokládá provoz při vysokých teplotách (bez varu teplotnosné látky), musí být provozní tlak nastaven na horní mez rozsahu. Pokud solární soustava nebude provozována nad 90°C , je možné volit minimální doporučenou hodnotu. Předpokládá se, že vyšších teplot by se mohlo v průběhu činnosti laboratoře dosahovat, a proto se p_d zvolí 150 kPa.

Maximální provozní tlak p_e (kPa) se odvozuje od maximálního dovoleného tlaku v soustavě (otevírací tlak pojistného ventilu). Maximální provozní tlak se volí cca 50 kPa pod hodnotou otevíracího tlaku pojistného ventilu p_{pv} . V našem případě jsou nejslabším článkem systému kolektory s maximálním provozním tlakem 600 kPa. Proto bude tlak p_e nastaven na 550 kPa.

Velikost rozsahu provozních tlaků p_e a p_0 ovlivňuje výrazně návrh expanzní nádoby, čím menší je provozní rozsah, tím větší nádoba musí být navržena pro udržení tlaků v daných mezích.

Hodnota provozního tlaku je také úzce svázána s druhem teplotnosné látky v soustavě. Pokud bude v solární soustavě teplotnosná látka, která vykazuje degradaci při vysokých teplotách, je vhodné udržovat maximální provozní tlak pod hodnotou tlaku odpovídajícího teplotě bodu varu teplotnosné látky.

V případě, že teplota v kolektorech přesáhne teplotu bodu varu látky, dojde k varu a teplota teplotnosné látky v kolektorech se dále nezvyšuje. Navíc se odpaří pouze zlomek teplotnosné látky a celý objem kolektorů je vytlačen do přívodního a zpětného potrubí.

Tento předpoklad však závisí jednak na schopnosti expanzní nádoby pohltit vytlačený objem z kolektorů a jednak na vyprazdňovací schopnosti kolektorů a s ní spojeným stagnačním chováním soustavy. V případě teplotnosné látky odolné velmi vysokým teplotám je možné, s ohledem na tlakovou odolnost prvků v soustavě, volit vysoké provozní tlaky, např. eliminující na druhé straně změnu skupenství při stagnačních podmínkách a pronikání páry do rozvodů solární soustavy.

Pojistný ventil [12]

Pojistný ventil je zařízení, které chrání primární okruh solární soustavy proti nedovolenému tlaku. Otevírací přetlak pojistného ventilu se nastavuje na 300 až 600 kPa, určuje maximální tlak v soustavě s ohledem na tlakovou odolnost nejslabšího prvku solární soustavy (zpravidla výměník nebo kolektor), určuje tlakový stupeň expanzní nádoby a nepřímo i její velikost.

Jelikož každý zdroj musí být vybaven neuzavíratelně připojeným pojistným zařízením, platí, že v potrubí mezi kolektory a pojistným ventilem nesmí být zařazeny žádné uzavírací prvky. Pokud se kolektorové pole skládá z více uzavíratelných či odpojitelných sekcí, musí být každá sekce vybavena samostatným pojistným ventilem. Pojistný ventil by měl odolat extrémním teplotním podmínkám dosažitelným v soustavě, zvláště nejvyšší teplotě, která se může vyskytnout, tj. stagnační teplotě. Pojistný ventil by měl být také odolný teplotnosné látce.

Expanzní nádoba

Solární soustava podobně jako každá otopná soustava musí být vybavena expanzním zařízením, které umožňuje změny objemu teplotnosné kapaliny vlivem tepelné objemové roztažnosti bez nedovoleného zvýšení tlaku a zbytečných ztrát kapaliny způsobených otevřením pojistného ventilu, a to v případě stagnace (maximální teploty, tvorba páry v kolektorech). U uzavřených solárních soustav je nutné použití tlakových expanzních nádob s membránou.

Tlaková expanzní nádoba je kovová nádoba, uprostřed rozdělená pružnou membránou, oddělující dvě látky: teplotnosnou látku solárního okruhu a dusík (případně vzduch). Dusíková náplň je z výroby nastavena na počáteční přetlak. Oproti expanzním nádobám pro otopné soustavy je u solárních soustav důležitá odolnost membrány vůči působení glykolu, zpravidla se používá nitrilová membrána nebo membrána z EPDM. Expanzní nádoby určené pro solární soustavy se proto od běžných provedení liší barevně (často provedení v bílé barvě). Expanzní nádoby jsou k dispozici ve standardní řadě (10, 12, 18, 25, 35, 50...) litrů.

Expanzní nádoba solárních soustav musí být dimenzována na zajištění minimálního objemu teplotnosné látky v nádobě ve studeném stavu V_s (1 až 2 % celkového objemu soustavy V , minimálně však 2 litry) na změnu objemu teplotnosné látky v soustavě ze studeného stavu daného minimální teplotou ($t_0 = 10\text{ °C}$) do ohřátí na maximální provozní teplotu (podle druhu provozu $t_{\max} = 90$ až 130 °C) a dále na vytlačení objemu teplotnosné kapaliny z kolektorů při možném vývinu páry. Minimální objem expanzní nádoby V_{EN} (dm^3) se tedy stanoví podle vzorce

$$V_{EN} = V_s + V \cdot \beta_{(t_{\max}-t_0)} + V_k, (\text{dm}^3) \quad (5.14)$$

kde V (dm^3) je celkový objem soustavy, $\beta_{(t_{\max}-t_0)}$ (l) je součinitel objemové roztažnosti teplotnosné látky určený pro daný provozní teplotní rozsah, V_k (dm^3) je objem solárních kolektorů. Skutečná velikost expanzní nádoby se získá dělením minimálního objemu tzv. stupněm využití expanzní nádoby η_{EN} (1), který se vypočítá podle vzorce

$$\eta_{EN} = \frac{p_e - p_0}{p_e + p_b}, (1) \quad (5.15)$$

kde p_b (kPa) je atmosférický tlak, p_e (kPa) maximální provozní tlak soustavy a p_0 (kPa) minimální provozní tlak soustavy. Jmenovatel $p_e + p_b$ je absolutní maximální provozní tlak soustavy.

Pro dříve vypočtené nebo zvolené hodnoty $p_e = 550\text{ kPa}$, $p_0 = 160,2\text{ kPa}$ a $p_b = 97\text{ kPa}$ vychází stupeň

využití expanzní nádoby $\eta_{\text{EN}} = 0,86$.

Hodnoty součinitele objemové teplotní roztažnosti jsou pro vodu standardně známy, ale pro nemrznoucí teplotnosné kapaliny je často obtížné je od výrobců získat.

Součinitel objemové teplotní roztažnosti je definován vztahem

$$\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right) = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right), (K^{-1}) \quad (5.16)$$

Pro praktický výpočet lze při znalosti změny hustoty kapaliny s teplotou použít vztah

$$\beta_{(t_{\text{max}}-t_0)} = \frac{v(t_{\text{max}}) - v(t_0)}{v(t_0)} = \frac{\rho(t_0)}{\rho(t_{\text{max}})} - 1, (1) \quad (5.17)$$

kde $v(t)$ ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) je měrný objem teplotnosné látky při teplotě t_{tl} ($^{\circ}\text{C}$) a $\rho(t)$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) je hustota teplotnosné kapaliny při teplotě t ($^{\circ}\text{C}$).

Hustoty by vypočteny pro 50% směs propylenglykolu a vody podle vzorce 5.2.

$\rho_{(10^{\circ}\text{C})} = 1044,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\rho_{(130^{\circ}\text{C})} = 949,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pro tyto hodnoty vychází součinitel $\beta_{(t_{\text{max}}-t_0)} = 0,0998$ v teplotním rozsahu 10 až 130°C .

Nejvyšší objem kapaliny (směs vody a propylenglykolu) v sedmi solárních kolektorech je $V_K = 17,74 \text{ dm}^3$, objem kapaliny v hlavní větvi (světlost potrubí 26 mm, délka potrubí 106 m) je $56,28 \text{ dm}^3$, ve větvích ke kolektorům (světlost potrubí 3/4", délka potrubí 2 m tam a zpět pro sedm kolektorů) je objem $6,28 \text{ dm}^3$. Ostatní vedení uvnitř laboratoře se předpokládá v délce cca. 10 m což by mělo dávat objem $5,31 \text{ dm}^3$. Celkový objem v soustavě tedy bude $V = 85,39 \text{ dm}^3$ z nichž 2% na minimální objem teplotnosné látky v expanzní nádobě ve studeném stavu V_S představuje $1,75 \text{ dm}^3$ (musí být minimálně 2 dm^3). Dosazením do vzorce 5.14 a podělením stupněm využití expanzní nádoby vyjde objem expanzní nádoby $V_{\text{EN}} = 32,73 \text{ dm}^3$.

Stejný postup se provede i pro druhý oběh, kde je teplotnosnou látkou voda. Hustota vody při atmosférickém tlaku a teplotě 10°C je $\rho_{(10^{\circ}\text{C})} = 999,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Při teplotě 100°C $\rho_{(100^{\circ}\text{C})} = 958,53 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a pro tento teplotní rozsah vychází součinitel $\beta_{(t_{\text{max}}-t_0)} = 0,04$.

Nejvyšší objem kapaliny ve dvou solárních kolektorech je $V_K = 6,3 \text{ dm}^3$, objem kapaliny v hlavní větvi (světlost potrubí 16 mm, délka potrubí 60 m) je $14,07 \text{ dm}^3$, ve větvích ke kolektorům (světlost potrubí 3/4", délka potrubí 2 m tam a zpět pro dva kolektory) je objem $1,79 \text{ dm}^3$. Ostatní vedení uvnitř laboratoře se předpokládá v délce cca. 10 m, což by mělo dávat objem $2,01 \text{ dm}^3$. Nádob

zásobníku má objem 600 dm^3 . Celkový objem v soustavě tedy bude $V = 622,07 \text{ dm}^3$ z nichž 2% na minimální objem teplotonosné látky v expanzní nádobě ve studeném stavu V_s představuje $12,45 \text{ dm}^3$. Dosazením do vzorce 5.14 a podělením stupněm využití expanzní nádoby vyjde objem expanzní nádoby $V_{EN} = 52,89 \text{ dm}^3$.

V obou případech se použije expanzní nádoba zbylá po předchozí laboratoři o objemu 80 litrů.

Výpočet tepelného výkonu kolektorů

Teplo vytvářené v kolektorech bude nutné odebírat a mařit, protože se v projektu budovy „G“ návrh zapojení kolektorů do systému TUV a vytápění z provozních důvodů nepodařilo prosadit.

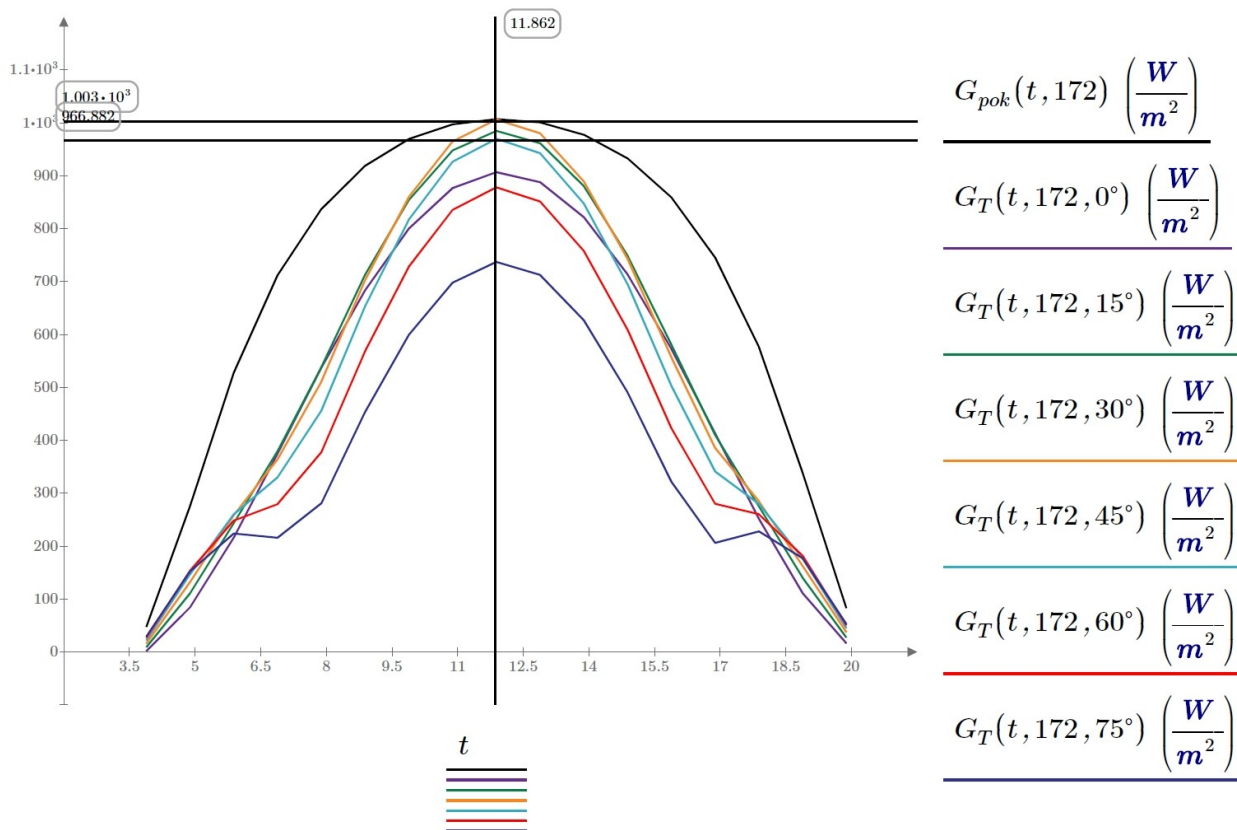
Pro návrh chlazení bude nutné spočítat nejvyšší možný tepelný výkon, který se bude předpokládat za slunečného počasí 21. června (letní slunovrat), kdy lze očekávat nejvyšší možné ozáření. Podle vzorců pro výpočet celkové intenzity slunečního záření [13] byl v programu Mathcad Prime vytvořen jednoduchý program za účelem získání grafu (č. 5) závislosti ozáření $G \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2})$ na čase v průběhu dne a výpočtu maximální hodnoty. V programu zadané parametry (součinitel znečištění atmosféry, nadmořská výška atd) odpovídají lokalitě budoucího umístění laboratoře.

$G_{pok}(t, 172) \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2})$ představuje hodnotu celkového ozáření, pokud by se plocha otáčela za Sluncem. Číslo 172 v závorce je pořadí dne v roce (21. červen) a t je proměnná času v hodinách. $G_T \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2})$ je hodnota celkového ozáření pro daný úhel sklonu kolektoru s vodorovnou rovinou.

Bude-li se uvažovat stálý sklon 45° , tak by maximální intenzita slunečního záření pro dané podmínky byla $G_T(172, 45^\circ) = G = 966,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Tepelný výkon je dále daný účinností a plochou apertury kolektoru. Jestliže zanedbáme ztráty tepla vedením můžeme uplatnit vzorec 2.2 a sečíst tepelný výkon pro připojené kolektory.

Protože měřením účinnosti kolektorů se v minulosti ve svých diplomových pracích [14] zabývali studenti Katedry energetických zařízení, tak se jejich výsledky v práci použijí, přestože chybí analýza chyb a je nutné odhadnout účinnost z grafů. Výčet účinností s plochou apertury je v tabulce 3.



Graf 5: Intenzita slunečního záření v průběhu dne, 21.6. (letní slunovrat).

VÝROBCE		Reflex	GreenOne Tec	Reflex	Thermosolar
NÁZEV	NAU	FSC 24	VK25	NBC 18	H 300
typ	ploché deskový	ploché deskový	vakuový trubkový	ploché deskový	ploché deskový
η [%]	0,5	0,2	0,1	0,2	0,25
Plocha apertury [m²]	2,43	2,2	2,23	1,57	1,78

VÝROBCE	Thermosolar	Sonnenkraft	Viessmann	Viessmann	Viessmann
NÁZEV	H 400V	SK 500 N	VITOSOL 300 D20	VITOSOL 200 D21	VITOSOL 100 s 1,7
typ	ploché vakuový	ploché deskový	vakuový trubkový	vakuový trubkový	ploché deskový
η [%]	0,4	0,5	0,2	0,4	0,4
Plocha apertury [m²]	1,84	2,21	2,14	2,14	1,7

Tabulka 4: Výpis ploch apertury a účinností jednotlivých kolektorů.

Nejvyšší tepelný výkon pro oběh s dvěma kolektory by poté podle rovnice 2.2 vycházel 2252,6 W a pro oběh se sedmi kolektory by byl 5298,1 W.

Výpočet tlakových ztrát [17]

Příčinou tlakových ztrát při proudění skutečných tekutin potrubím je disipace energie, tj. nevratná přeměna části mechanické energie proudící tekutiny na teplo. Tlakové ztráty se rozdělují na ztráty třením a ztráty místní a jejich součet dává celkovou tlakovou ztrátu oběhu

$$p_{tz} = \Delta p_T + \Delta p_O, (kPa) \quad (5.18)$$

kde Δp_T (kPa) je tlaková ztráta třením a Δp_O (kPa) je tlaková ztráta vlivem místních odporů.

Ztráty třením vznikají na celé délce potrubí a vzrůstají ve směru proudění tekutiny. Tlaková ztráta v kruhovém potrubí stálého průměru se určí podle Weisbachova vztahu

$$p_T = \sum_{j=1}^n \left(\lambda \frac{l_j}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} + \Delta p_{Fj} \right), (kPa) \quad (5.19)$$

kde λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) je součinitel tlakových ztrát, l (m) délka potrubí a Δp_{Fj} (kPa) je tlaková ztráta vlivem místních odporů v posuzovaném úseku. Kromě přesného výpočtu tlakových ztrát v potrubí Δp_{Fj} dovoluje norma [18] také jejich přibližné stanovení podle vztahu

$$p_T = a \sum_{j=1}^n \left(\lambda \frac{l_j}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \right), (kPa) \quad (5.20)$$

kde a (1) je součinitel vlivu místních odporů (obvykle $a = 2$ až 3).

U oběhu s vodou (hodnoty pro oběh s propylenglykolem s indexem p, s vodou s indexem v) budou použity potrubí o světlosti $d_v = 16$ mm ($d_p = 26$ mm), rychlost vody v potrubí je zvolena $w_v = 0,44$ m·s⁻¹ ($w_p = 0,46$ m·s⁻¹), celková délka potrubí je $l_v = 70$ m ($l_p = 116$ m). Součinitel vlivu místních odporů se zvolí $a_v = 2$ ($a_p = 2$). Výpočet součinitele tření λ je závislý na typu proudění, který se určí z Reynoldsova čísla, jež je definované vztahem

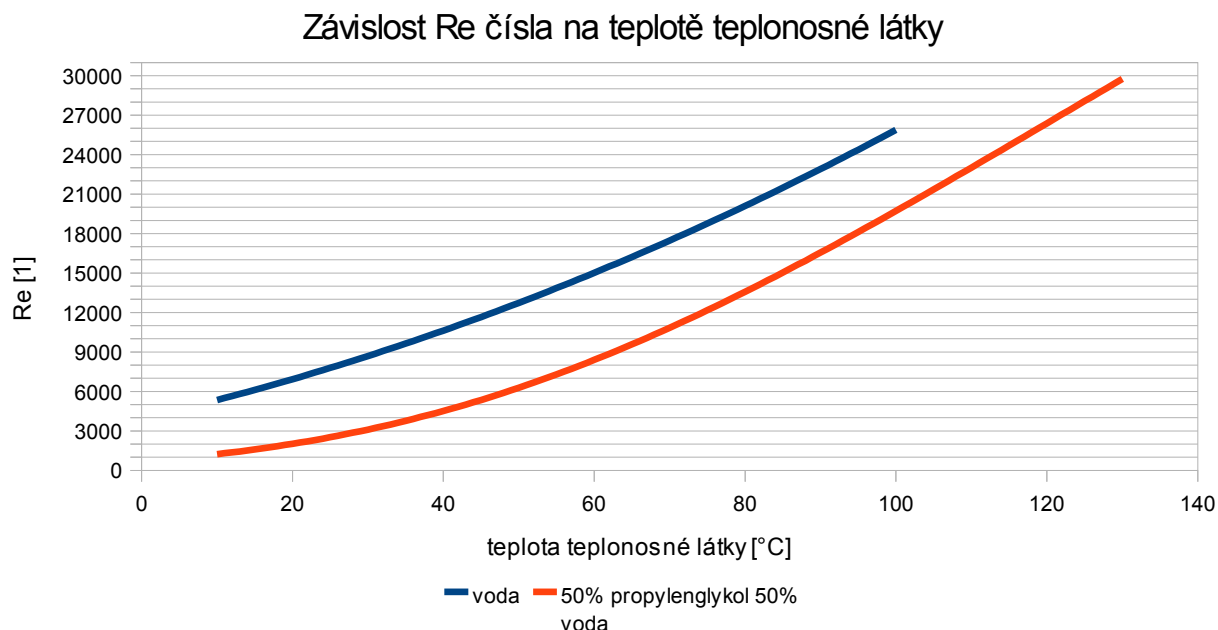
$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}, (1) \quad (5.21)$$

kde ν je viskozita vody spočtená podle vzorce [19]

$$\nu = \frac{1,79 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 \cdot t_{il} + 0,000221 \cdot t_{il}^2}, (1) \quad (5.22)$$

kde t_{il} (°C) je teplota teplonosné látky.

Závislost Reynoldsova čísla na teplotě pro zadané parametry je vidět v grafu 6.



Graf 6: Závislost Reynoldsova čísla na teplotě.

Jak je vidět prochází proudění v oběhu s propylenglykolem z laminárního do turbulentního. Výpočet součinitele tření λ pro laminární proudění se provede podle vzorce

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1) \quad (5.23)$$

a pro turbulentní proudění se použije vztah podle Šereka

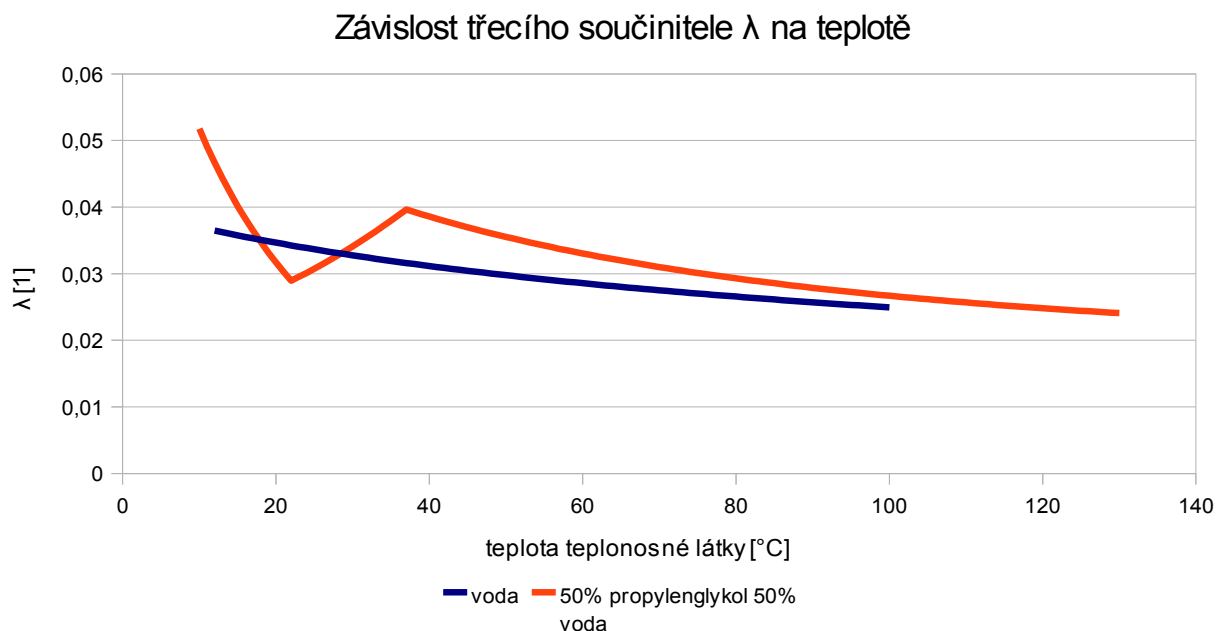
$$\lambda = \left[\frac{1}{\left(1,13874 - 2 \cdot \log \left(\frac{k}{d} \right) \right)^8} + \frac{0,01}{Re} \right]^{0,25}, (1) \quad (5.24)$$

kde k (m) je hydraulická drsnost stěn potrubí, pro měděné trubky $k = 1,4 \cdot 10^{-6}$ m. Výpočet součinitele tření λ pro přechodovou oblast se provede interpolací krajních hodnot laminárního a turbulentního proudění podle vztahu

$$\lambda = \lambda_{2320} + \frac{\lambda_{4000} - \lambda_{2320}}{4000 - 2320} \cdot (Re - 2320), (1) \quad (5.25)$$

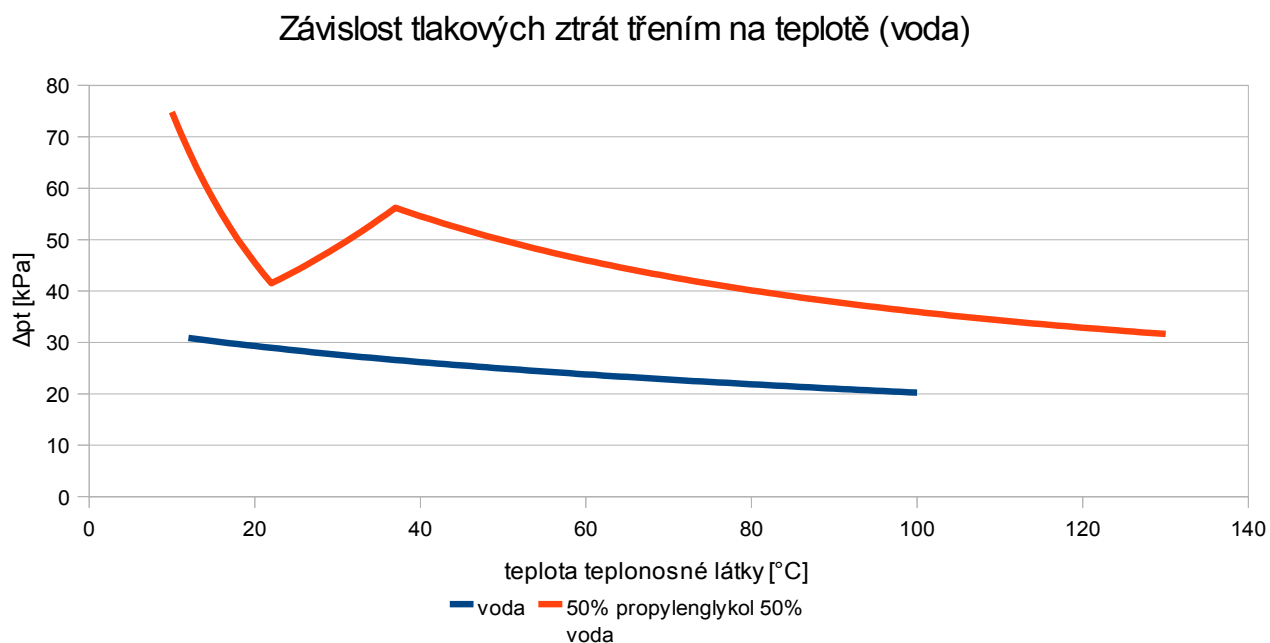
kde λ_{2320} je součinitel tření pro Reynoldsovo číslo 2320 a spočítaný podle vztahu 5.23 a λ_{4000} je

součinitel tření pro Reynoldsovo číslo 4000 a spočítaný podle vztahu 5.24. Závislost součinitele tření na teplotě je vidět v grafu 7.



Graf 7: Závislost třecího součinitele λ na teplotě při daném objemovém toku oběma oběhy.

Závislost tlakových třecích ztrát je možné vidět v grafu 8 po dosazení do vzorce 5.20



Graf 8: Závislost tlakových ztrát třením na teplotě při daném objemovém toku oběma oběhy.

Místní ztráty (ztráty vloženými odpory) jsou způsobeny rozvířením tekutiny v místech, kde dochází ke změně směru nebo změně průřezu potrubí. Takovými místními odpory jsou výměníky, otopná tělesa, kolena, oblouky, odbočky, armatury, náhlá rozšíření nebo zúžení průřezu apod. Tlakovou ztrátu způsobenou místním odporem počítáme podle vztahu

$$\Delta p_o = \sum_{j=1}^n \left(\zeta_j \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \right), (kPa) \quad (5.26)$$

kde ζ_j je třecí součinitel místního odporu. V praxi se ale častěji u armatur udává průtokový součinitel K_v . Pomocí průtokového součinitele se tlaková ztráta místního odporu spočítá podle vzorce

$$\Delta p_o = \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_j}{K_v} \right)^2 \cdot 100 \text{ kPa}. (kPa) \quad (5.27)$$

Tento vztah je platný pro případ turbulentního proudění, kdy se předpokládá, že se součinitel tlakových ztrát λ mění již jen málo. Přestože proudění přechází z laminárního do turbulentního, tak vzorec použijeme pro orientační hodnotu.

V oběhu, kde je jako teplotonosná látka použita voda se největší třecí odpor předpokládá v okruhu, kde jsou v sérii zapojeny 4 kulové ventily ($K_{V-3/4} = 40,36$) 2 kulové ventily ($K_{V-1/2} = 23,84$), jedna zpětná klapka ($K_{V-1/2} = 9,4$), jedno průhledítko (hodnotu K_v se nepodařilo zjistit, bude se uvažovat podobná jako u kulového ventilu $K_{V-1/2} = 23,84$), filtr ($K_{V-3/4} = 8,2$) a kolektor. Výrobci kolektorů tlakové ztráty většinou neuvádí, ale pohybují se od 1 kPa do 20 kPa v závislosti na průtoku (ve výpočtu se bude uvažovat hodnota 2 kPa). Pokud budeme počítat s průtokem hlavní větve ($3/4''$) $323 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ a vedlejší větve ($3/4''$) ke kolektoru $183 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ (což je nejvyšší průtok kolektorem), tak potom celková třecí ztráta vlivem místních odporů (bez započtené třecí ztráty kolektoru) bude $\Delta p_o = 0,1 \text{ kPa}$. To je v porovnání s třecí ztrátou v potrubí zanedbatelné, a proto se vliv místních odporů do výpočtů celkové třecí ztráty zanedbá.

Výběr čerpadla

Pro oběh s vodou i propylenglykolem by se použila čerpadlová jednotka s izolovanou větví RLGP2270 (obrázek 16), která obsahuje čerpadlo Wilo ST 20/6 s charakteristickou křivkou v grafu 9.

Tuto jednotku má katedra k dispozici po předchozí laboratoři. Pro oběh dlouhodobého sledování se

směsí vody a propylenglykolu by jednotka RLGP2270 nestačila jen za předpokladu, že by teplota směsi propylenglykolu a vody byla nižší než 16°C.

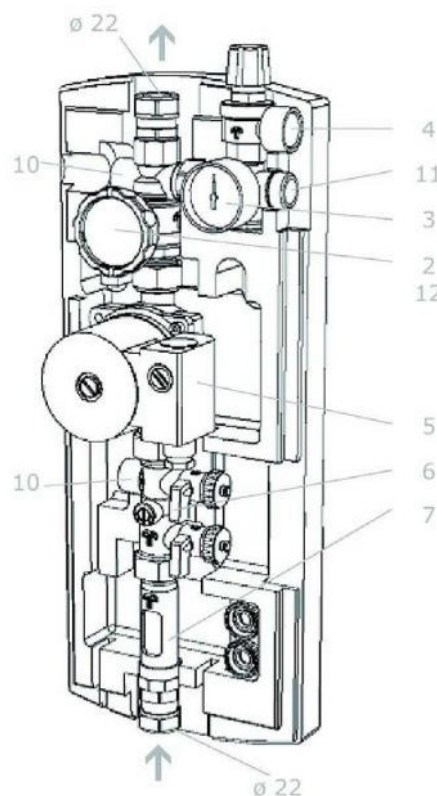
Pro tento případ by se oběh zkrátil a zapojeny by byly jen první čtyři kolektory. Celková tlaková ztráta by se zkrácením délky potrubí o 50 m snížila při teplotě teplotnosné látky 7 °C pod hodnotu 60 kPa pro maximální navrhovaný průtok. V tomto případě by jednotka RLGP2270 vyhovovala.

Pro oběh přesného měření by jednotka RLGP2270 také vyhovovala.

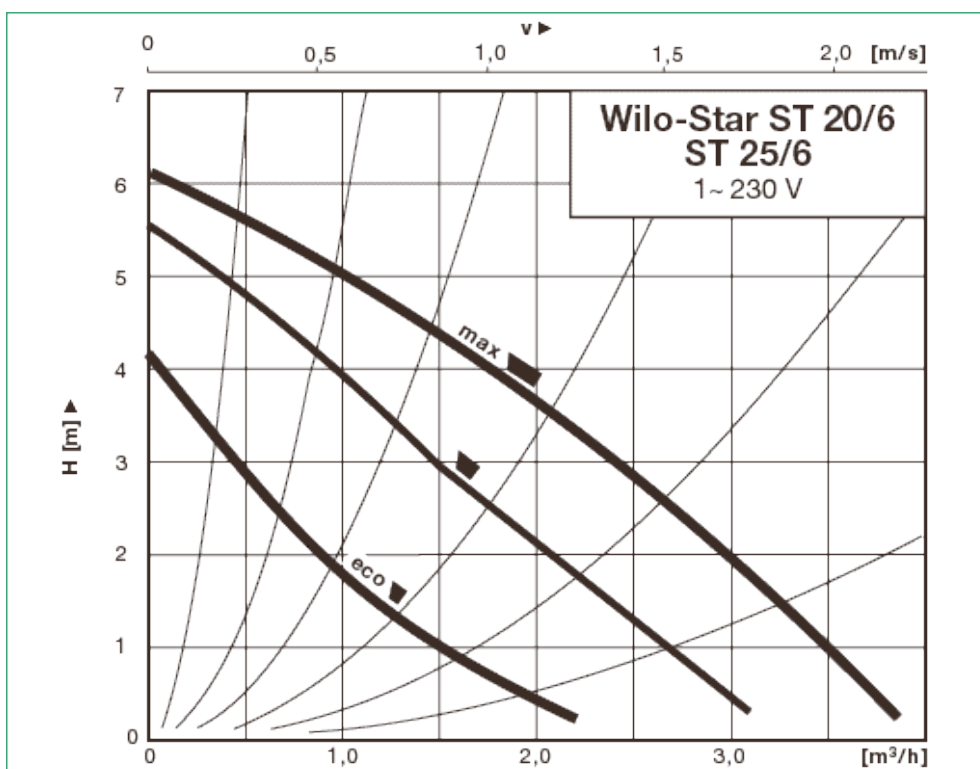
Pro vnitřní oběh oběhu se směsí vody a propylenglykolu je potřeba navrhnout čerpadlo, které bude překonávat dopravní výšku danou rozdílem výšek dvou přípojných bodů pro dodatkový tepelný zdroj zásobníku Solarito II.. Tato výška je 695 mm a objemový průtok se předpokládá 300 l·h⁻¹. Pro tyto parametry bylo vybráno čerpadlo Wilo Star-Z 20/1 s charakteristickou křivkou podle grafu 10.

Popis čerpadlové jednotky RLGP2270

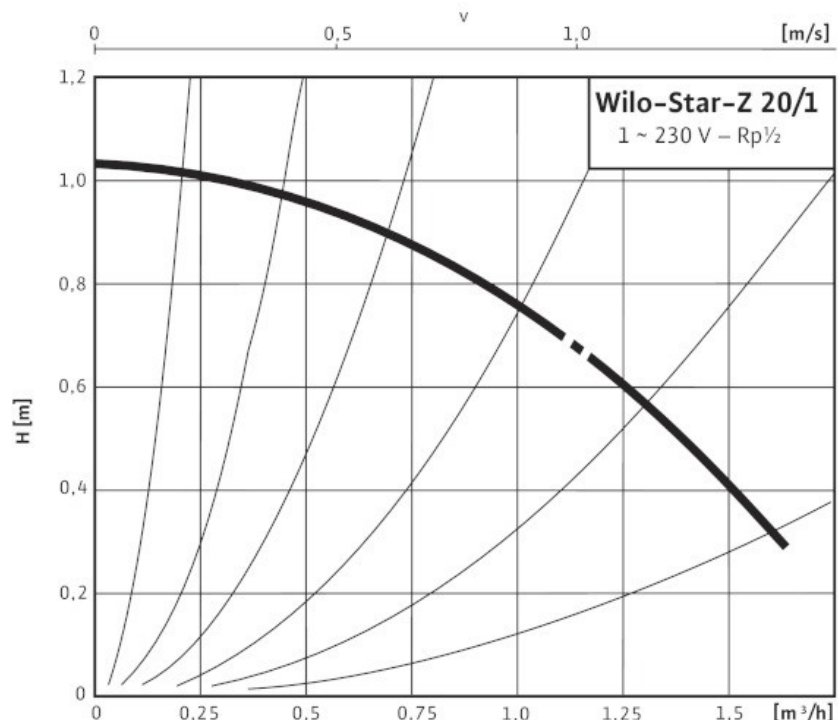
2. Kulový ventil s integrovanou tíhovou brzdou
3. Manometer
4. Pojistný ventil, 6 bar
5. Čerpadlo ST20/6
6. Plnicí armatura
7. Průtokoměr, 1-13 l/min
10. Zátka, ½"
11. Připojení expanzomatu
12. Teploměr



Obrázek 16: Prvky čerpadlové jednotky RLGP2270 [21].



Graf 9: Charakteristická křivka čerpadla Wilo-Star ST 20/6 [22]



Graf 10: Charakteristická křivka a závislost výkonu na objemovém toku čerpadla Wilo Star Z 20/1 [22]

Regulace průtoku

Aby byla dodržena podmínka 6 v kapitole o podmínkách měření tepelného výkonu a účinnosti je nutné držet hmotnostní tok kolektory na stejné hodnotě. Hustota teplotnosné látky se mění s teplotou, a proto by se měl měnit i objemový tok v závislosti s teplotou.

V praxi by se měla informace o teplotě teplotnosné látky na vstupu do kolektoru a objemovém toku kolektorem přenést do řídicí jednotky, která by vyslala signál na dvoucestný regulační ventil se servopohonem, tak aby byl nastavený hmotnostní tok zachován.

Tyto ventily by byly jen v oběhu přesného měření a v oběhu dlouhodobého sledování by se průtok kolektory reguloval jen na čerpadle.

Návrh regulačního ventilu se servopohonem se provede podle postupu v katalogu firmy LDM [23]. Přibližná hodnota průtokového součinitele se vypočítá podle rovnice

$$K_v = \frac{\dot{Q}}{1000 \cdot \sqrt{\Delta p_v}}, (m^3 \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}) \quad (5.28)$$

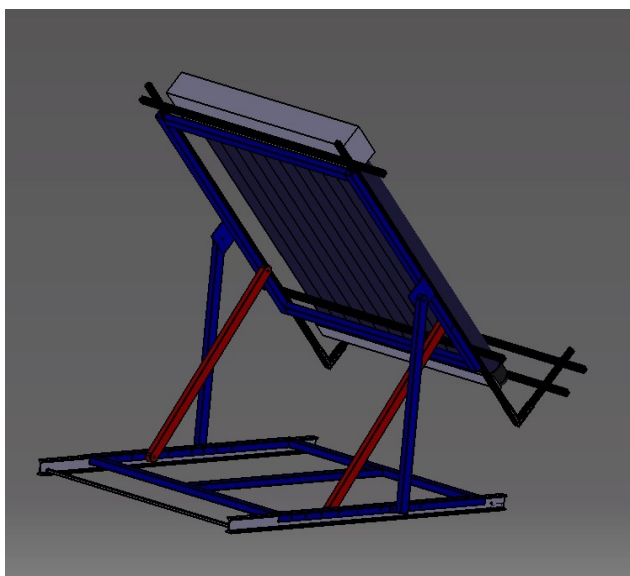
kde Δp_v (bar) je nejvyšší možný tlakový spád na regulačním ventilu. Pokud by se počítalo s maximálním objemovým tokem v oběhu při nejnižší teplotě rozsahu (10 °C), tak by Δp_v byl 0,1 bar. Rozsah doporučených objemových toků kolektory je 40 až 183 l·h⁻¹. Bude se počítat s průměrnou hodnotou z rozsahu a ta je 111,5 l·h⁻¹. Po dosazení vyjde hodnota průtokového součinitele $K_v = 0,35 m^3 \cdot h^{-1} \cdot bar^{-1}$, ke které se připočítá přírůstek na výrobní tolerance 30 % a vybere se nejbližší vyráběná řada K_v . Podle katalogu by to byl ventil RV 111R 2313 0,4/150-15T.

6 Stojan kolektoru

Podle normy [4] a po návštěvě solární laboratoře na ČVUT byl navržen stojan (obrázek 17), který umožní polohovat kolektor pod úhly v rozmezí od 0° po 90° po 15° intervalech a současně bude splňovat požadavky normy.

Stojan se skládá ze základny svařené z dutých obdelníkových profilů. K základně je přišroubována stojina, která spojuje základnu s rámem, který má stejné rozměry jako základna. Pomocí podpěry se bude polohovat rám. Samotný kolektor se položí na hliníkové profily Maytec a zajistí svorkami.

Pomocí rohovníku se vytvoří rovina kolmá na kolektor, kde budou umístěny ventilátory. Na přečnívající hliníkový profil se namontuje pyranometr, miskový anemometr a vedení kabelů teplotních čidel a připojovacího potrubí.



Obrázek 17: Stojan s kolektorem zezadu

Výrobní výkresy stojanu jsou v příloze č.5. Po smontování prvního kusu se před výrobou ostatních stojanů musí provést odzkoušení a odladění nedostatků.

Stojan bude umístěn na I profily, podél kterých se bude moci posouvat. I profily budou položeny volně na střechu budovy „G“ a jejich rozteč bude zajištěna dutým čtvercovým profilem s patkami, který se přišroubuje mezi I profily.

7 Seznam materiálu pro stavbu solární laboratoře

Pro stavbu solární laboratoře se počítá s využitím funkčních komponentů zbylých po předchozí laboratoři. Jedná se především o dvojité měřiče spotřeby tepla MT200DS, zásobník Solarito II, dvě expanzní nádoby Reflex a výměník voda vzduch.

Bude nutné nechat vyrobit a odzkoušet stojanový systém podle výrobních výkresů v příloze č. 5. Připojení kolektorů a instalace potrubí bude zadána specializované firmě, se kterou bude projekt projednán. Výčet materiálu potřebného k zbudování solární laboratoře je v tabulce č. 6.

Z dřívější solární laboratoře má katedra k dispozici meteostanici, u které se při revizi přišlo na nefunkčnost čidel teploty, vlhkosti a srážek. Oprava čidel s novou ústřednou pro záznam dat by vyšla na 35 tisíc Kč, a proto je otázkou zda nekoupit meteostanici novou. Naopak pyranometr SG420 a ultrazvukový anemometr Windsonic, zbylé po staré meteostanici, jsou po revizi funkční a v případě koupě nové meteostanice by se mohli použít pro samotné měření účinnosti kolektorů.

Jako alternativa nové meteostanice se nabízí model Vantage Pro2 od firmy Davis. Rozlišení, rozsah a přesnost meteostanice je v tabulce č. 5.

	jednotka	rozlišení	rozsah	přesnost
tlak vzduchu	mm Hg	0,1	410 až 820	0,8
vnitřní vlhkost	%	1	0 až 100	3
venkovní vlhkost	%	1	0 až 100	3
venkovní rosný bod	°C	1	-76 až 54	1,5
srážky	mm	0,2	0 až 6553	4,00%
intenzita srážek	mm/h	0,1	0 až 2438	5 % ≤ 127 mm/h
solární záření	W/m ²	1	0 až 1800	5,00%
UV dávka	MED	0,1	0 až 199	5,00%
UV index	1	0,1	0 až 16	5,00%
vnitřní teplota	°C	0,1	0 až 60	0,5
venkovní teplota	°C	0,1	-40 až 65	0,5
venkovní teplotní index	°C	0,1	-40 až 74	1,5
chlad větru	°C	1	-79 až 57	1
směr větru	°	1	0 až 360	3
rychlost větru	m/s	0,1	1 až 67	5,00%

Tabulka 5: Přesnost a rozsah meteostanice Vantage Pro2

Data z meteostanice jsou přenášena bezdrátově (ve volném prostoru při přímé viditelnosti až na 300 m) a zobrazují se na displeji přijímací konzoly Vantage Pro. Konzoli je možné pomocí dataloggeru napojit na PC a pomocí přiloženého programu WeatherLink data dále zpracovávat. Datalogger umí uložit data dle nastaveného intervalu (1, 5, 10, 15, 30, 60 nebo 120 minut) až za 6 měsíců.

Seznam materiálu pro stavbu solární laboratoře					
P.č.	název položky	MJ	množství	cena/MJ	cena celkem (Kč)
ustavení stojanů kolektorů					
1	I profil 80x80 (EN 10219-2)	m	83	150	12450
2	trubka TR 4HR 20x20 (EN 10219-2)	mJ	13	62	806
				součet	13256
materiál k výrobě stojanu					
3	trubka TR OBD 60x40 (EN 10219-2)	mJ	116	75	8700
4	plech P5 (EN 10143)	m ²	2,5	600	1500
5	plech P3 (EN 10143)	m ²	1,5	400	600
6	U profil 60x40	m	36	90	3240
				součet	14040
potrubí					
7	měď DN18x1	m	70	111	7770
8	měď DN26x1	m	106	179	18974
9	pružné potrubí ke kolektorům Eurotis TFA 1/2"	m	36	190	6840
10	tvárovky	ks	116	70	8120
11	izolace potrubí 20/20	m	70	18	1260
12	izolace potrubí 28/20	m	116	21	2436
				součet	41704
armatura					
13	kulový ventil 3/4"	ks	4	106	424
14	kulový ventil 1"	ks	9	142	1278
15	kulový ventil 1/2"	ks	28	76	2128
16	závitový filtr 3/4"	ks	1	160	160
17	závitový filtr 1"	ks	2	248	496
18	ADV ventil IVAR.ADV 850	ks	3	1250	3750
19	AOV ventil R99S 1/2"	ks	12	580	6960
20	průhledítko Totaline SG 1/2"MF DN12	ks	9	400	3600
21	zpětná klapka 1/2"	ks	9	142	1278
22	termostatický ventil TS-90-V	ks	1	292	292
23	regulační ventil RV111R23130,4/150-15T	ks	2	1500	3000
				součet	23366
čerpadla					
24	čerpadlová jednotka RLGP2270	ks	2	po předchozí laboratoři	
25	čerpadlo wilo star z 20/1	ks	1	4080	4080
				součet	4080
měřicí technika					
26	pyranometr SG420	ks	3	1 po předchozí laboratoři + 2 na katedře	
27	kalorimetrická jednotka MT200DS	ks	5	po předchozí laboratoři	
28	čidlo teploty PT500	ks	33	po předchozí laboratoři	
29	ultrazvukový anemometr Windsonic	ks	1	po předchozí laboratoři	
30	miskový anemometr W01	ks	2	9754	19508
31	meteostanice Vantage Pro+ FARS	ks	1	27990	27990
				součet	47498
ostatní					
32	výměník deskový DV193-20E	ks	1	2500	2500
33	výměník bez označení po předchozí laboratoři	ks	1	po předchozí laboratoři	
34	ventilátor Ecofit 4GRA45 180x92R	ks	1	po předchozí laboratoři	
35	expanzní nádoba reflex 80l-6bar	ks	1	po předchozí laboratoři	
36	expanzní nádoba reflex 80l-10bar	ks	1	po předchozí laboratoři	
37	zásobník Reflex Solarito II	ks	1	po předchozí laboratoři	
38	nerezový zásobník TX600 B	ks	1	54000	54000
39	solární kapalina SOLAREN® P EXTRA -30°C	l	85	100	8500
				součet	65000
celkem					208944

Tabulka 6: Seznam materiálu pro stavbu solární laboratoře.

8 Orientační rozpočet

Rozpočet stavby solární laboratoře se bude skládat z materiálu na stavbu nakoupeného a z prací na výrobě a montáži stojanu, dopravě materiálu na střechu budovy „G“ a montáži solární laboratoře, kterou provede odborná firma. V tabulce č. 7 je orientační rozpočet.

Orientační rozpočet na stavbu solární laboratoře		
P.č.	název položky	cena celkem (Kč)
	ustavení stojanů	
1	materiál	12450
2	doprava materiálu	3000
3	výroba dílů k montáži	2000
4	montáž	1000
	součet	18450
	výroba a montáž stojanů	
5	materiál	14040
6	výroba dílů	77000
7	montáž	7000
8	doprava	4000
	součet	102040
	montáž solární laboratoře	
9	materiál - potrubí	41704
10	materiál - armatura	23366
11	materiál - měřicí technika	47498
12	materiál - ostatní	69080
13	montáž	70000
	součet	251648
	celkem	372138

Tabulka 7: Orientační rozpočet stavby solární laboratoře.

Celková orientační cena solární laboratoře je 372 138 Kč. Pokud by se upustilo od stavby oběhu dlouhodobého sledování a došlo k výstavbě jen oběhu přesného měření, pak by se cena dala snížit na 141 000 Kč.

Do celkové ceny nebyla započítána měřicí a řídicí ústředna a datové a napájecí kabeláž.

9 Navrhované úlohy měření

V solární laboratoři bude možné, po navržení systému zaznamenávání a řízení, instalaci samotné laboratoře a odzkoušení, měřit účinnost kolektorů a další jiné specifické úlohy.

Předpokládá se, že hodnoty účinnosti kolektorů se budou v obou obězích vypočítávat automaticky pomocí programu v průběhu měření. Tento program ještě ale není sestaven, a proto by bylo vytvoření postupu měření účinnosti kolektorů předčasné.

Navrhované úlohy měření se budou provádět při praktických cvičeních předmětu Technická měření, které trvají 1,5 hodiny a úlohy by tento čas neměly překročit.

Určení časové konstanty kolektoru

Časová konstanta τ_c se v rámci tepelných zkoušek kolektoru stanovuje především pro určení a nastavení příslušné doby přípravy kolektoru před ustálenou zkouškou tepelného výkonu. Jde o zkoušku nepovinnou, nicméně dává náhled na tepelnou setrvačnost kolektoru a jeho dynamické chování.

Zkouška určení časové konstanty kolektoru se bude skládat ze dvou částí. V první části si studenti ověří meteorologické podmínky pro úlohu a připraví teplonosnou látku na požadovanou teplotu a v druhé části změří časovou konstantu dvěma způsoby a porovnají.

Zadání úlohy 1:

Změřte časovou konstantu kolektoru (typ určí cvičící) pro výrobcem zadaný optimální průtok.

Podmínky měření:

Při zkoušce je nutné dodržet určité podmínky, které se budou splňovat snáze pro oběhu přesného měření, kde je jako teplonosná látka použita voda.

- 1) Solární ozáření G ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) na rovinu apertury kolektoru musí být vyšší než $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.
- 2) Hmotnostní průtok \dot{m} ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) teplonosné látky kolektorem nesmí kolísat od střední hodnoty více jak $\pm 1 \%$.
- 3) Teplota teplonosné látky na vstupu do kolektoru t_i ($^{\circ}\text{C}$) musí být nastavena na přibližně stejné úrovni jako teplota okolního vzduchu t_o ($^{\circ}\text{C}$) (jak přesně norma [4] neuvádí).

Postup úlohy 1:

- 1) Ověřte zda hodnota solárního ozáření G_1 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) přesahuje hodnotu $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.
- 2) Zjistěte teplotu okolního vzduchu t_0 ($^{\circ}\text{C}$) zaznamenávané meteorologickou stanicí.
- 3) Nastavte kulové ventily (V1, V2, V3, V4, V12, V13 a V14) tak, aby bylo možné promíchat vodu v zásobníku a spusťte čerpadlo.
- 4) Po ustálení teplot teplotnosné látky (čidla T1, T2 a T3) na stejné hodnotě, vypněte čerpadlo.
- 5) V případě, že je teplota teplotnosné látky v zásobníku vyšší než teplota t_0 ($^{\circ}\text{C}$), je nutné ji snížit na přibližně stejnou hodnotu jako t_0 ($^{\circ}\text{C}$) dopuštěním studené vody ze sítě (v opačném případě nechte oběh zapojený, tak aby se voda v zásobníku ohřívala kolektory). Nechte odpustit studenou vodu ze sítě nastavením ventilů (V11 a V12) a změřte její teplotu t_{sv} (čidlo T4).
- 6) Zakryjte kolektory aluminiovou fólií.
- 7) Pomocí kalorimetrické rovnice vypočítejte jaký objem studené vody je potřeba do zásobníku dopustit.

$$m_1 \cdot c_{p(t_{z1})} \cdot t_{z1} - m_2 \cdot c_{p(t_{z1})} \cdot t_{z1} + m_3 \cdot c_{p(t_{sv})} \cdot t_{sv} = (m_1 - m_2 + m_3) \cdot c_{p(t_{z2})} \cdot t_{z2}, (J) \quad (9.1)$$

kde m_1 (kg) je hmotnost teplotnosné látky (v zásobníku a potrubí) v uzavřeném oběhu pro promíchávání podle bodu 3, m_2 (kg) hmotnost teplotnosné látky odvedené pryč ze systému, m_3 (kg) hmotnost teplotnosné látky přivedené do systému, c_p ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) měrná tepelná kapacita vody, t_{z1} ($^{\circ}\text{C}$) teplota teplotnosné látky v zásobníku před ochlazením, t_{sv} ($^{\circ}\text{C}$) teplota studené vody do systému přivedené a t_{z2} teplota teplotnosné látky v zásobníku po ochlazení. Hodnotu t_{z2} volíme tak, aby platilo $t_{z2} = t_0$. Za hmotnosti m_1 , m_2 a m_3 se dosadí podle vzorců

$$m_1 = V_c \cdot \rho_{t_{z1}}, (kg) \quad (9.2)$$

$$m_2 = V_{od} \cdot \rho_{t_{z1}}, (kg) \quad (9.3)$$

$$m_3 = V_{od} \cdot \rho_{t_{sv}}, (kg) \quad (9.4)$$

kde V_c (m^3) je objem teplotnosné látky v uzavřeném oběhu pro promíchávání a V_{od} (m^3) je objem ze systému odvedený.

Dosazením rovnic 9.2, 9.3 a 9.4 do rovnice 9.1 a následném upravení vyjde rovnice pro objem teplotonosné látky odvedené ze systému (měřené objemovým průtokoměrem Q3)

$$V_{od} = \frac{V_c \cdot (\rho_{t_{z2}} \cdot c_{p(t_{z2})} \cdot t_{z2} - \rho_{t_{z1}} \cdot c_{p(t_{z1})} \cdot t_{z1})}{\rho_{sv} \cdot c_{p(t_{sv})} \cdot t_{sv} - \rho_{t_{z1}} \cdot c_{p(t_{z1})} \cdot t_{z1} + (\rho_{t_{z1}} - \rho_{t_{sv}}) \cdot c_{p(t_{z2})} \cdot t_{z2}} \cdot (m^3) \quad (9.5)$$

- 7) Odpustíme vypočtený objem V_{od} ze zásobníku do kanalizace přivedením studené vody ze sítě a nastavením ventilů (V1, V2, V3, V4, V11, V12, V13 a V14).
- 8) Opakujeme bod 3 a 4. Zkontrolujte zda má teplota teplotonosné látky přibližně stejnou hodnotu jako teplota okolního vzduchu t_o .
- 9) Zapojte obvod tak, aby teplotonosná látka protékala kolektory.
- 10) Zapněte čerpadlo a vyčkejte ustálení průtoku (případně nastavte hmotnostní tok protékající kolektorem redukčním ventilem na požadovanou hodnotu podle typu kolektoru).
- 11) Odkryjte fólii z kolektoru a sledujte vývoj teploty t_e teplotonosné látky na výstupu. Po ustálení teploty t_e kolektor opět zakryjte a opětovně vyčkejte ustálení teploty t_e .
- 12) Určete z počítačem zaznamenaných dat časovou konstantu kolektoru pro oba způsoby a obě hodnoty porovnejte.

Časová konstanta bude záviset na objemovém toku kolektorem a bylo by dobré znát tuto závislost.

Zadání úlohy 2:

Změřte časovou konstantu kolektoru pro 75% a 125% objemového toku zadaného výrobcem.

Postup i podmínky jsou shodné s úlohou 1.

10 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout solární laboratoř na střeše budovy „G“. Prostory přidělené katedře ale nejsou zdaleka ideální. Hlavní vinu na tom má fakt, že se o účelu místa rozhodlo až v průběhu téměř dokončené stavby, u které se při navrhování se solární laboratoří nepočítalo. Proto také chybí připojení solární laboratoře do systému TUV a vytápění. Tím se teplo získané v kolektorech musí mařit pomocí čerpadel a ventilátorů poháněných elektrickou energií, což není moc ekologické.

V diplomové práci byly navrženy dva oběhy pro měření účinnosti kolektorů. První pro přesné měření respektující podmínky dané normou [4] o zkušebních metodách kolektorů a druhý pro dlouhodobé sledování.

Pro uchycení kolektorů byl navržen stojan umožňující polohování kolektoru v rozsahu 0 až 90° po 15°. Současně umožňuje uchycení generátorů umělého větru, pyranometru a dalších měřících zařízení. Stejný stojan bude použit pro všech devět kolektorů, a proto se doporučuje nechat vyrobit nejdříve jeden kus, na kterém se odladí možné nedostatky. Sníží se tím případné náklady na dodatečné úpravy.

Před uvedením solární laboratoře do provozu bude nutné učinit řadu kroků k dosažení funkčnosti, které ale nebyly tématem diplomové práce.

Pro oběh přesného měření bude potřeba sestavit a naprogramovat regulační obvod se zpětnou vazbou pro řízení objemového průtoku regulačním ventilem se servopohonem RV 111R 2313 0,4/150-15T tak, aby hmotnostní tok kolektorem měl po dobu měření maximální odchylku od střední hodnoty maximálně $\pm 1\%$.

Pro vyhodnocování výsledků bude nutné navrhnout systém, který bude přicházející meteorologická data a data o teplotách teplonosné látky zaznamenávat a následně zpracovávat.

Před zapojením kalorimetrických měřících jednotek MT200DS je nutná jejich kalibrace.

Do budoucna by bylo dobré najít uplatnění tepelné energie získané kolektory a nebo alespoň využít fotovoltaických panelů, které má katedra také k dispozici k pohonu čerpadel a ventilátorů.

Seznam použité literatury

- [1] Trendy v solární tepelné technice (II) - Solární kolektory [online]. Topinfo s.r.o.. [13.4.2014]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [2] Typy solárních kolektorů [online]. Topinfo s.r.o.. [13.4.2014]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [3] Typy solárních kolektorů. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o.. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [4] ČSN EN 12975-2. Tepelné solární soustavy a součásti - Solární kolektory - Část2: Zkušební metody. ČNI, listopad 2006
- [5] Plocha solárního kolektoru [online]. Topinfo s.r.o.. [13.4.2014]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/plocha-solarniho-kolektoru>
- [6] Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů. In: tzb-info [online]. Topinfo s.r.o.. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/ucinnost-solarniho-kolektoru>
- [7] Modifikátor úhlu dopadu [online]. Topinfo s.r.o.. [13.4.2014]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/modifikator-uhlu-dopadu>
- [8] Specification of solar irradiance sensors acc. ISO 9060 [online]. Ammonit Measurement GmbH. [13.4.2014]. Dostupné z: <http://ammonit.com/en/products/sensors/solar-sensors-pyranometers/368-iso-9060-specification>
- [9] Teplonosná kapalina [online]. Topinfo s.r.o.. [16.4.2014]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/teplonosna-kapalina>
- [10] Potrubí solárních soustav [online]. Topinfo s.r.o.. [16.4.2014]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/potrubni-solarnich-soustav>
- [11] Výpočet vnitřních vodovodů podle nové ČSN 75 5455 [online]. Topinfo s.r.o.. [16.4.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4694-vypocet-vnitrnich-vodovodu-podle-nove-csn-75-5455>
- [12] Prvky solárních soustav (III) [online]. Topinfo s.r.o.. [16.4.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3517-prvky-solarnich-soustav-iii>
- [13] Matuška Tomáš. Alternativní zdroje energie (učební texty). Praha: 2009. [vid. 21. 4. 2014].

Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~matustom/skripta_AZE_FS.pdf

- [14] Košek, Marek. Posouzení vlivu spektrálně selektivních povrchů absorbérů na účinnost solárních termálních kolektorů. Liberec: TUL 2010. Diplomová práce, TUL, Fakulta strojní, Katedra energetických zařízení
- [15] Zdroje tepla [online]. Žilinská univerzita v Žilině. [27.4.2014]. Dostupné z: http://fstroj.uniza.sk/web/ket/subory/pre%20studentov/zt/Zdroje_tepla_7.pdf
- [16] ČSN EN 806-4. Vnitřní vodovody pro rozvod vody určené k lidské spotřebě - Část 4: Montáž. ČNI, září 2010
- [17] Vliv místních odporů na tlakové ztráty v potrubí [online]. Topoinfo s.r.o.. [1.5.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/8514-vliv-mistnich-odporu-na-tlakove-ztraty-v-potrubi>
- [18] ČSN 75 5455. Výpočet vnitřních vodovodů. ČNI, srpen 2007
- [19] Přibližný výpočet tlakové ztráty třením v potrubí [online]. Topoinfo s.r.o.. [1.5.2014]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1002-priblizny-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubi>
- [20] Jabor, Jan. Porovnání fototermálních kolektorů za stejných meteorologických podmínek v solární laboratoři na TU v Liberci. Liberec: TUL 2006. Diplomová práce, TUL, Fakulta strojní, Katedra energetických zařízení
- [21] RLGP2270 - Čerpadlová jednotka s jednou izolovanou větví [online]. Solar power CZ. [8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.solarpower.cz/home/pdf/RLGP2270.pdf>
- [22] Wilo [online]. Online catalogue. Dostupné z: <http://productfinder.wilo.com/cz/CZ/start>
- [23] LDM [online]. Regulační ventily LDM COMAR line. Dostupné z: <http://www.ldm.cz/images/stories/katalog/01024CZ.pdf>

Seznam příloh

- Příloha č. 1:** Specifikace kolektorů.
- Příloha č. 2:** Tabulka konstant k výpočtům termofyzikálních vlastností směsi propylenglykolu a vody.
- Příloha č. 3:** Původní schéma laboratoře.
- Příloha č. 4 až 17:** Výkresy stojanu kolektoru
- Příloha č. 18:** Výkres umístění solárních kolektorů na střeše budovy „G“.
- Vložená příloha:** Prováděcí projekt

Přílohy

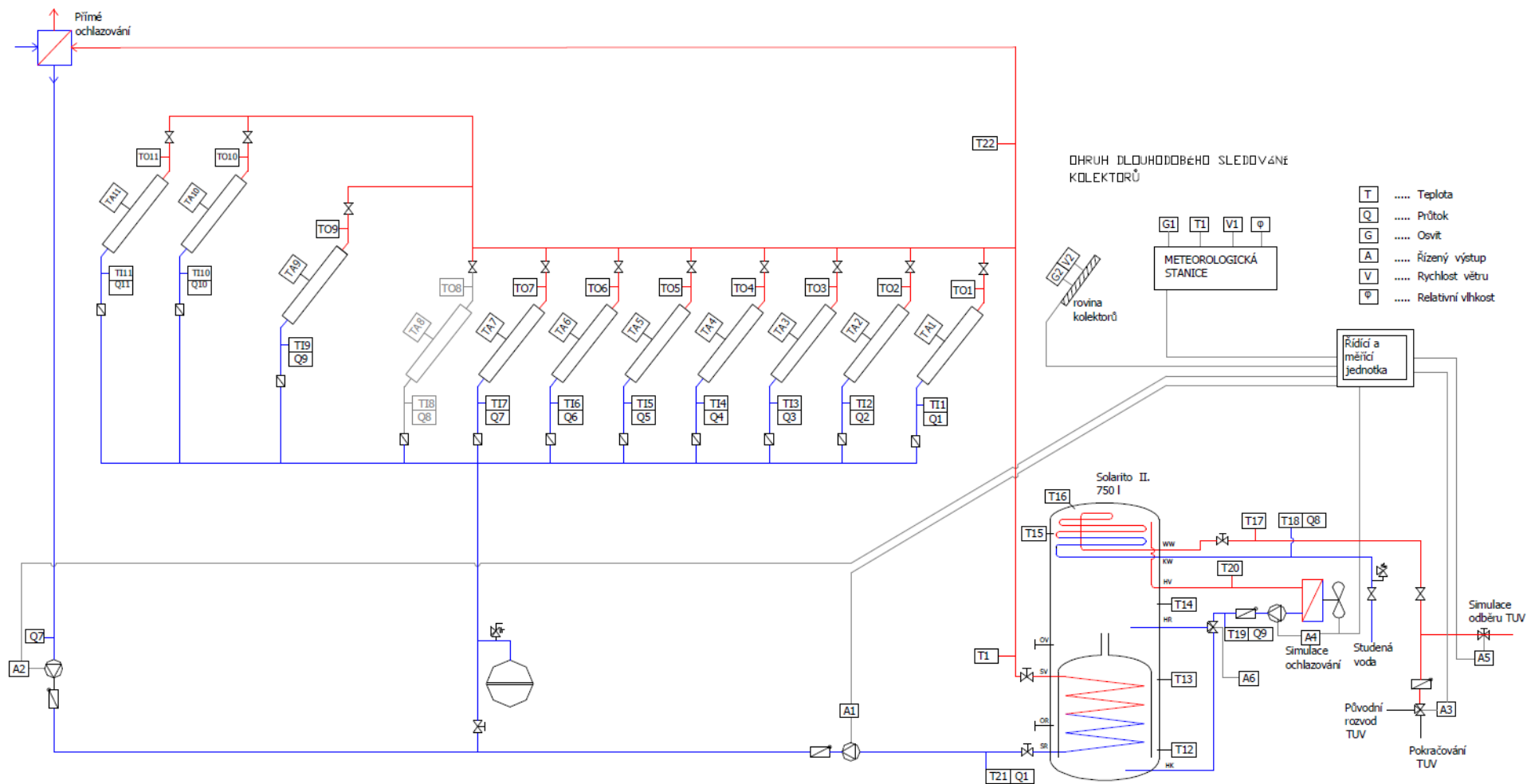
Příloha 1: Specifikace kolektorů.

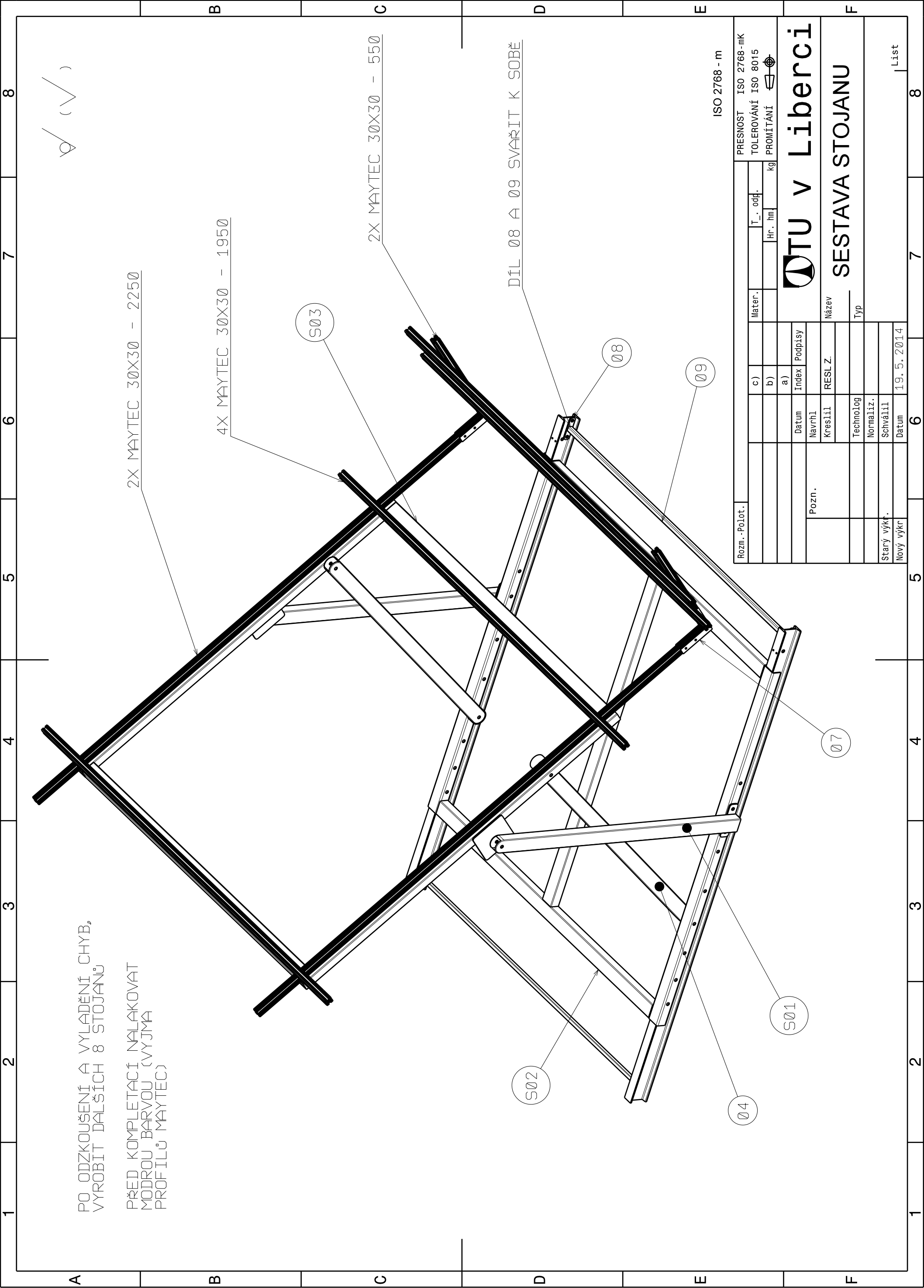
VÝROBCE		Reflex	Reflex	Thermosolar	Thermosolar	Sonnenkraft	Sonnenkraft	Viessmann	Viessmann	Viessmann
NÁZEV	NAU	NBC 18	FSC 24	H 300	H 400V	SK 500 N	VK25	VITOSOL 100 s 1,7	VITOSOL 300 D20	VITOSOL 200 D21
typ	plochý deskový	plochý deskový	plochý deskový	plochý deskový	plochý vakuový	plochý deskový	vakuový tubicový	plochý deskový	vakuový trubcový	vakuový trubcový
materiál absorberu	hliník	měď	měď	hliník	hliník	měď	měď	měď	měď	měď
typ povrchu absorberu	černá barva	černá barva	TiNOx	Alox	Alox	TiNOx	selektivní	TiNOx	TiNOx	TiNOx
celková plocha [m2]	2,73	1,81	2,37	2,03	2,03	2,57	2,57	1,8	2,93	2,94
plocha apertury [m2]			2,2	1,78	1,84	2,21	2,23	1,7	2,14	2,14
plocha absorberu [m2]	2,43	1,57	2,14	1,76	1,76	2,21	2,36	1,61	2	2
Rozměry [mm]		1940 x 940 x 100	2009 x 1180 x 93			2077 x 1237 x 39	1645 x 1555 x 107	2385 x 753 x 102	2,24 x 1450 x 138	2028 x 1450 x 138
Hmotnost [kg]		31	45	43		47		44	45	45
Objem kapaliny [l]		2,3	1,5	1,3					1,2	4
Připojovací rozměry potrubí		vnitřní závit ¾"	vnější závit 1/2"						průměr 22	průměr 22
Klidová teplota [°C]		155	202	178			286		150	300
Maximální pracovní přetlak [bar]		10	10	6		10	10		6	6
Zkušební přetlak [bar]		15	15							
Průtok kapaliny [l/hod]	175	113	154	127	127	159	170	116	144	144
optická účinnost [%]		80		80		70			82,5	84
Teplonosná kapalina		solaren	solaren			Propilenglicol/voda				

Příloha 2: Tabulka konstant k výpočtům termofyzikálních vlastností směsi propylenglykolu a vody.

Konstanta A	ρ [kg/m3]	cp [kJ/(kg.K)]	λ [W/(m.K)]	μ [Pa.s]	Pr [-]	Tt [K]
0	-	-	-	-	-	1
1	508,41	4,48	1,19	-1,03	6,66	-0,04
2	-182,41	0,61	-1,49	-10,03	-6,99	-0,4
3	965,77	-0,71	-0,7	-19,93	-18,55	-
4	280,29	-1,94	1,14	14,66	12,05	-
5	-472,23	0,48	0,07	14,62	14,48	-

Příloha 3: Původní schéma laboratoře.



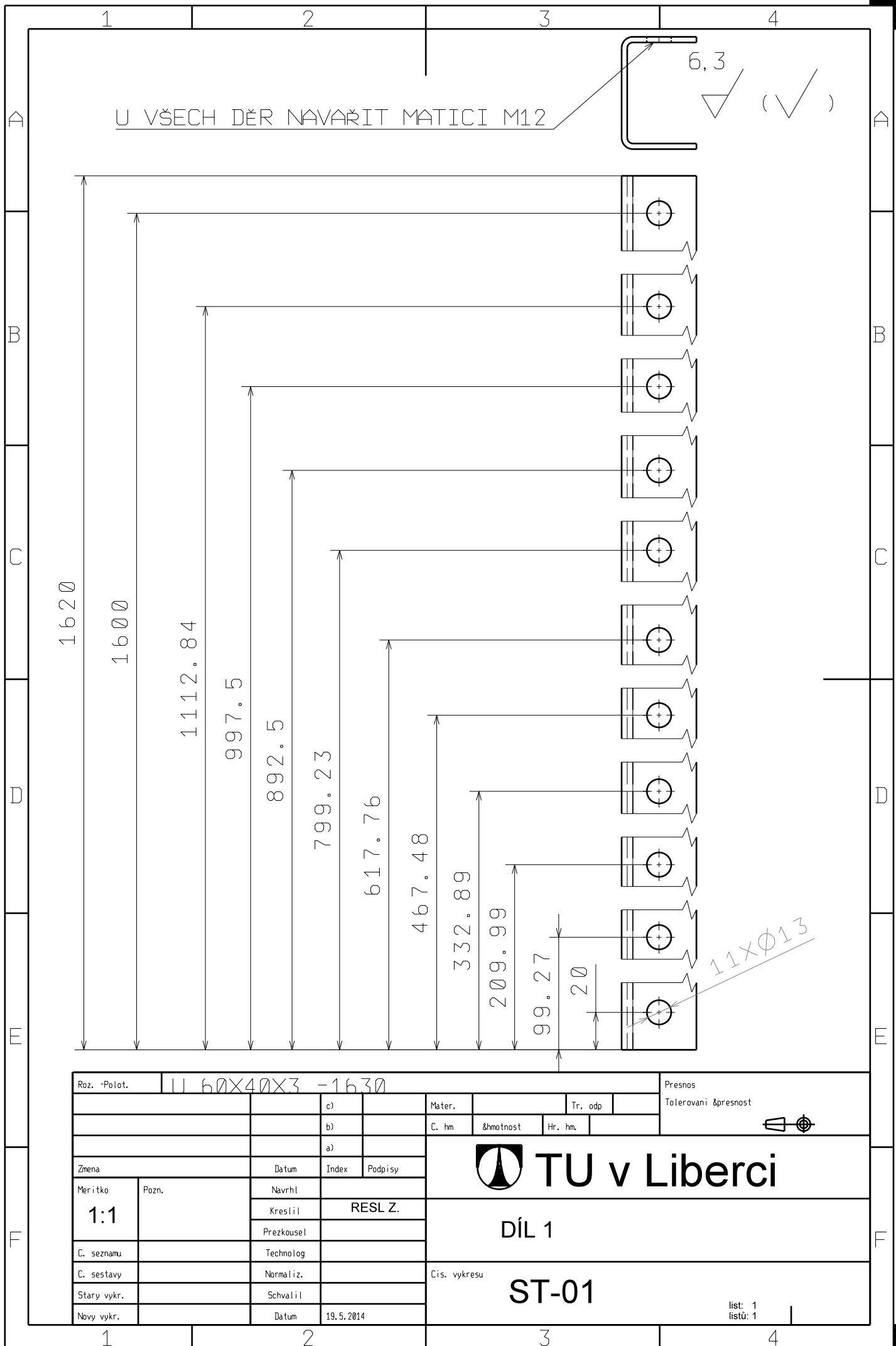


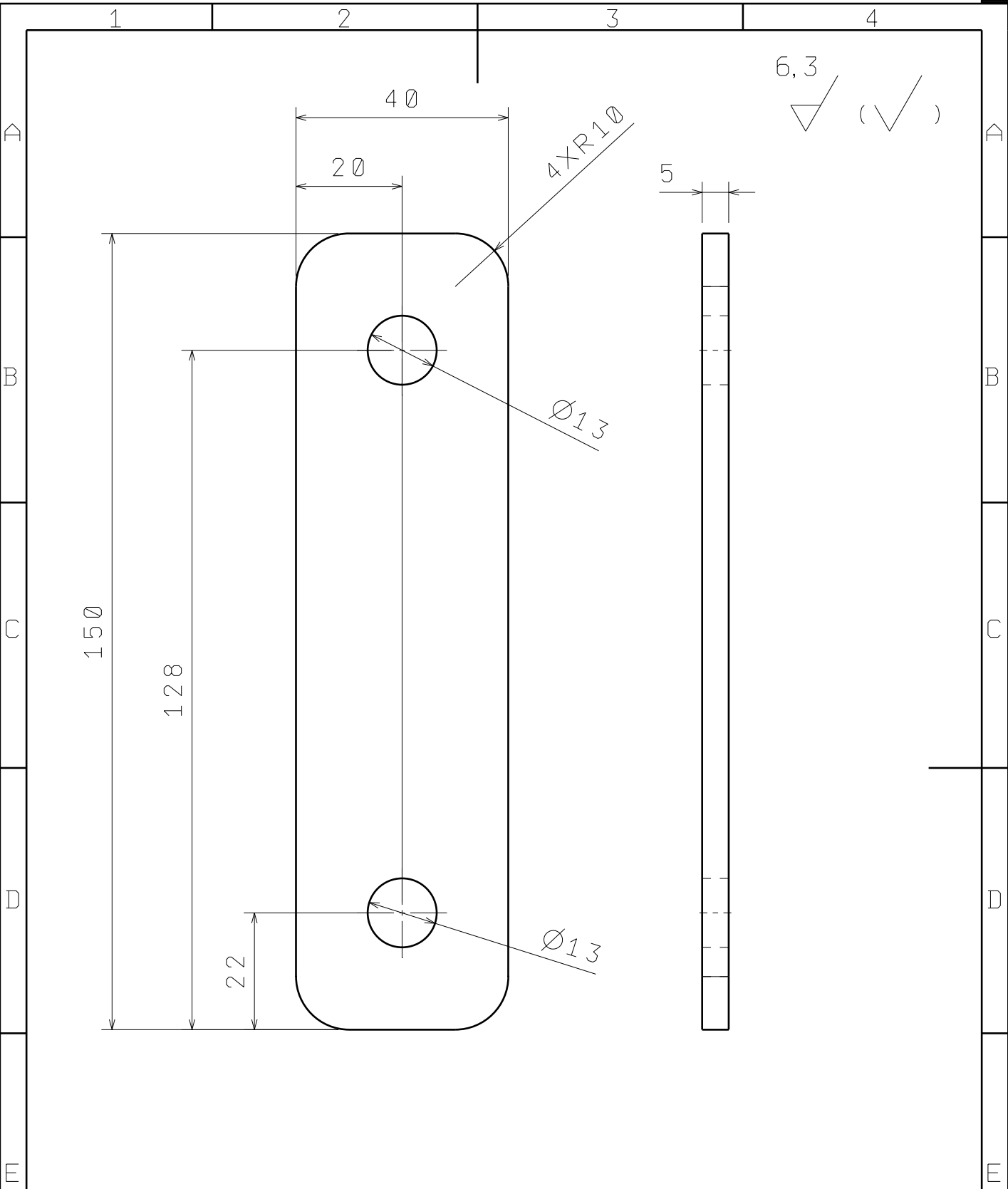
Rozm. - Poř.č.	PRESNOST		ISO 2768 - mK	
	TOLEROVÁNÍ		ISO 8015	
	PROMÍTÁNÍ			
		Mater.	T. odp.	
			Hr. hm	kg
		Datum	Index	Podpisy
		Navrhl	Kreslil	RESL Z.
			Technolog	
			Normaliz.	
		Starý výkr.	Schválil	
		Nový výkr.	Datum	19. 5. 2014


DTU v Liberci

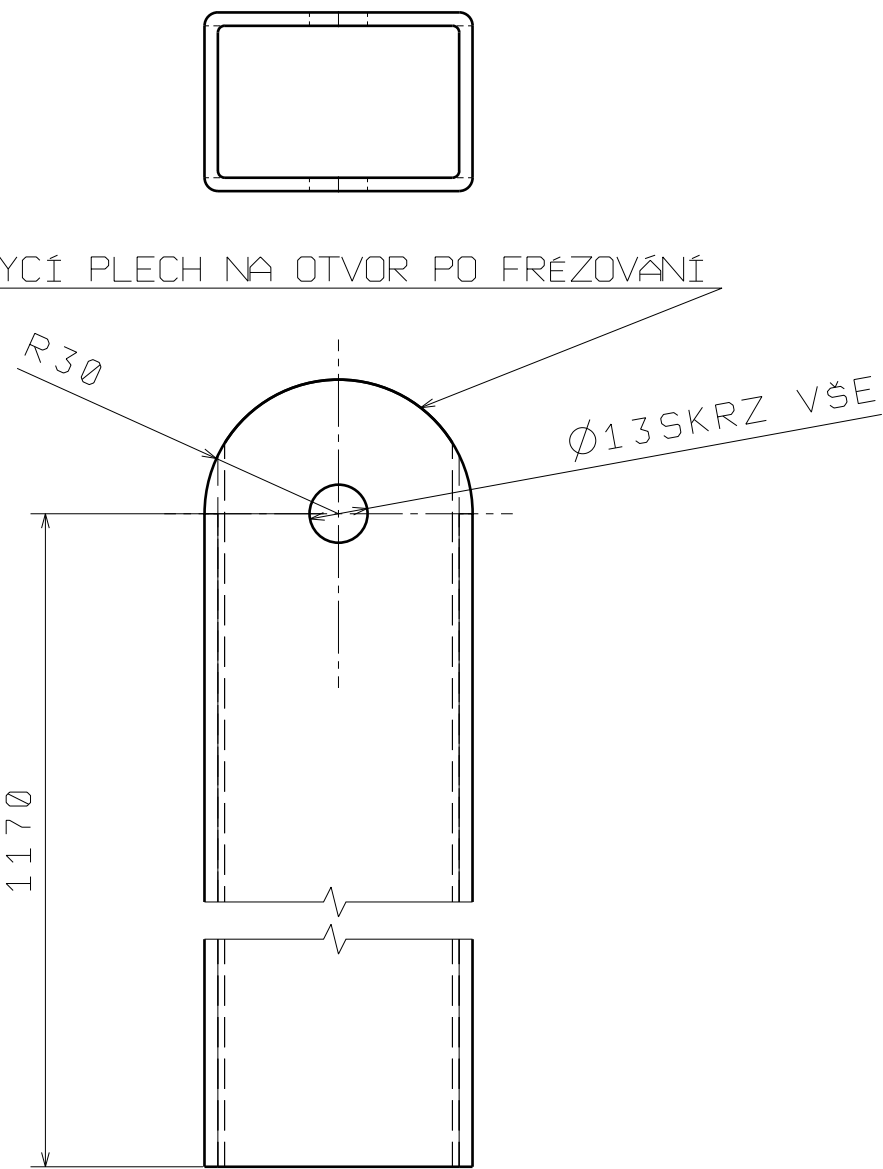






SESTAVA STOJANU

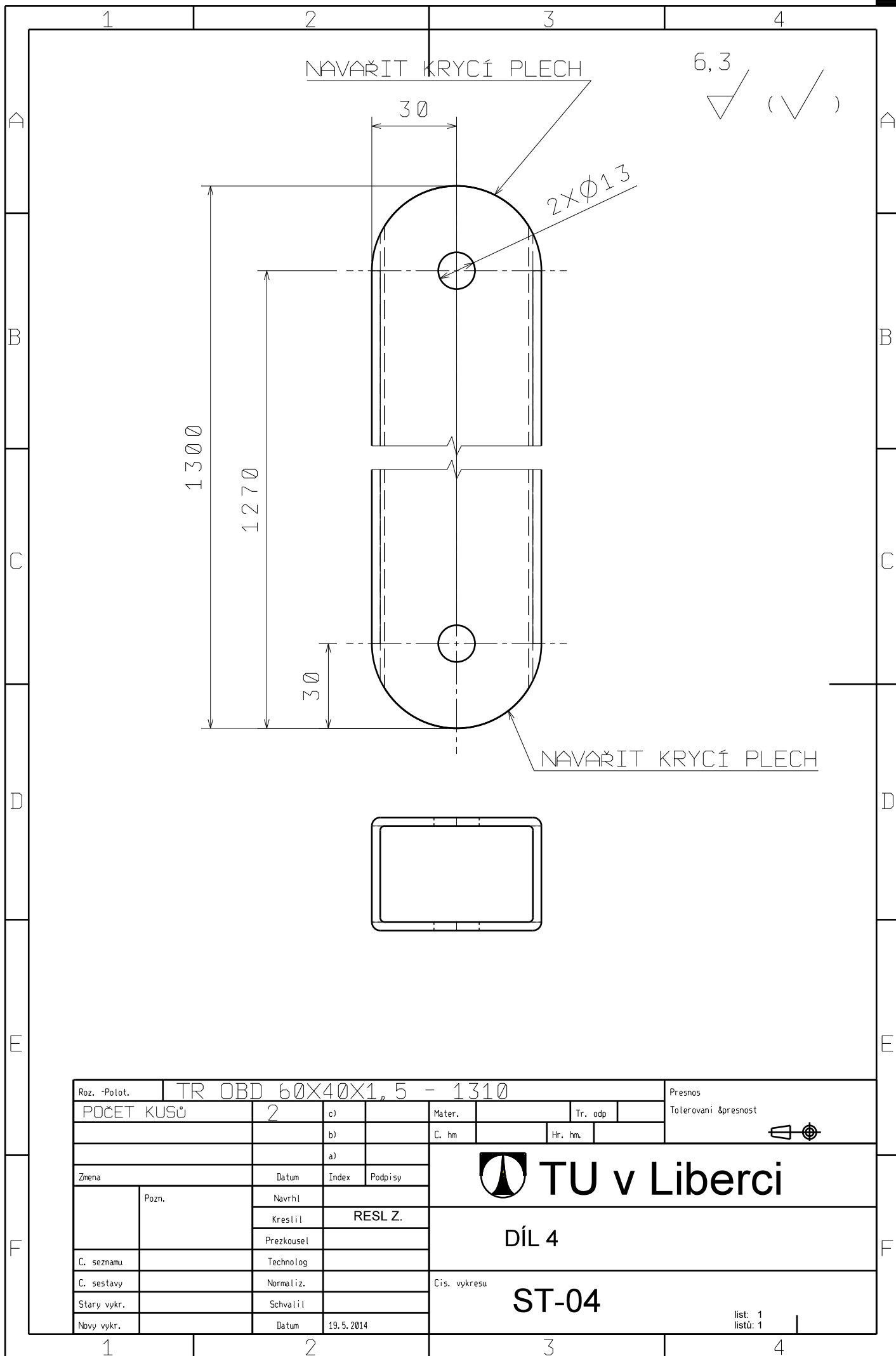
List



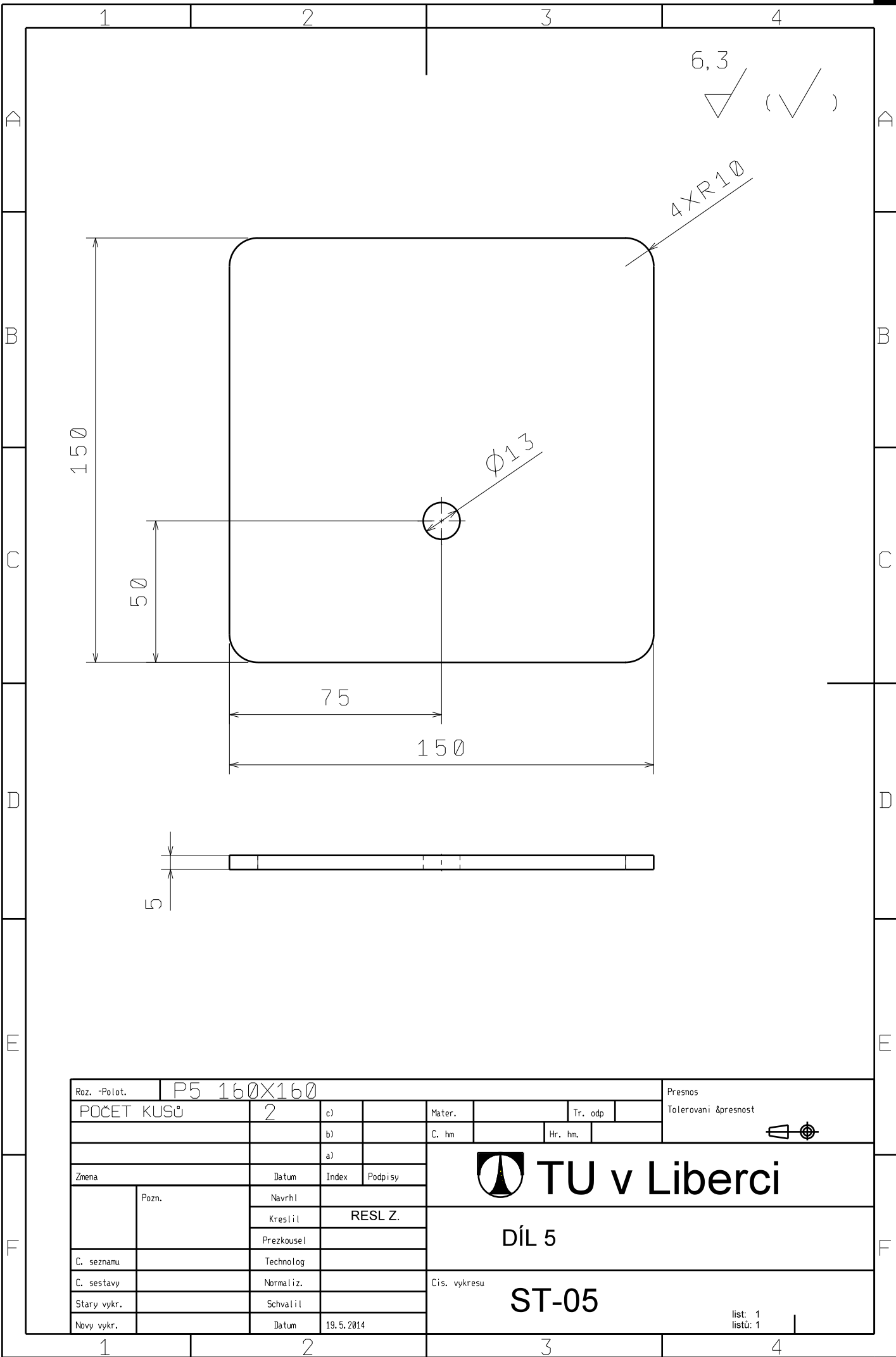


Roz. - Polot.		P5 - 160X50				Presnos			
POČET KUSŮ		2		c)		Mater.		Tr. odp	Tolerovali & presnost
				b)		C. hm		Hr. hm.	
				a)					
Zmena		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci				
	Pozn.	Navrh							
		Kreslil		RESL Z.					
		Prezkousel							
C. seznamu		Technolog			DÍL 2				
C. sestavy		Normaliz.							
Stary vykr.		Schvalil							
Novy vykr.		Datum	19.5.2014						
					Cis. vykresu				
					ST-02				
					list: 1 listu: 1				

1	2	3	4																																																																																						
A	<div>6,3 ▽ (✓)</div>			A																																																																																					
B	<div>NAVAŘIT KRYCÍ PLECH NA OTVOR PO FRÉZOVÁNÍ</div>			B																																																																																					
C	<div></div>			C																																																																																					
D				D																																																																																					
E				E																																																																																					
F	<table border="1"><tr><td colspan="2">Roz. - Polot.</td><td colspan="4">TR OBD 60X40X1,5 - 1210</td><td colspan="2">Presnos</td></tr><tr><td colspan="2">POČET KUSŮ</td><td>2</td><td>c)</td><td></td><td>Mater.</td><td></td><td>Tr. odp</td><td rowspan="3">Tolerování & přesnost </td></tr><tr><td colspan="2"></td><td></td><td>b)</td><td></td><td>C. hm</td><td></td><td>Hr. hm</td></tr><tr><td colspan="2"></td><td></td><td>a)</td><td></td><td colspan="3"></td></tr><tr><td colspan="2">Zmena</td><td>Datum</td><td>Index</td><td>Podpisy</td><td colspan="4" rowspan="4"><div> TU v Liberci</div><div>DÍL 3</div><div>ST-03</div><div>list: 1 listů: 1</div></td></tr><tr><td></td><td>Pozn.</td><td>Návrhl</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td></td><td></td><td>Kreslil</td><td colspan="2">RESL Z.</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Prezkoušel</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>C. seznamu</td><td></td><td>Technolog</td><td colspan="2"></td><td colspan="4" rowspan="3">Cis. vykresu</td></tr><tr><td>C. sestavy</td><td></td><td>Normaliz.</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>Starý vykr.</td><td></td><td>Schválil</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>Nový vykr.</td><td></td><td>Datum</td><td colspan="2">19. 5. 2014</td><td colspan="4"></td></tr></table>			Roz. - Polot.		TR OBD 60X40X1,5 - 1210				Presnos		POČET KUSŮ		2	c)		Mater.		Tr. odp	Tolerování & přesnost 				b)		C. hm		Hr. hm				a)					Zmena		Datum	Index	Podpisy	<div> TU v Liberci</div> <div>DÍL 3</div> <div>ST-03</div> <div>list: 1 listů: 1</div>					Pozn.	Návrhl					Kreslil	RESL Z.				Prezkoušel			C. seznamu		Technolog			Cis. vykresu				C. sestavy		Normaliz.			Starý vykr.		Schválil			Nový vykr.		Datum	19. 5. 2014						F
Roz. - Polot.		TR OBD 60X40X1,5 - 1210				Presnos																																																																																			
POČET KUSŮ		2	c)		Mater.		Tr. odp	Tolerování & přesnost 																																																																																	
			b)		C. hm		Hr. hm																																																																																		
			a)																																																																																						
Zmena		Datum	Index	Podpisy	<div> TU v Liberci</div> <div>DÍL 3</div> <div>ST-03</div> <div>list: 1 listů: 1</div>																																																																																				
	Pozn.	Návrhl																																																																																							
		Kreslil	RESL Z.																																																																																						
		Prezkoušel																																																																																							
C. seznamu		Technolog			Cis. vykresu																																																																																				
C. sestavy		Normaliz.																																																																																							
Starý vykr.		Schválil																																																																																							
Nový vykr.		Datum	19. 5. 2014																																																																																						
1	2	3	4																																																																																						

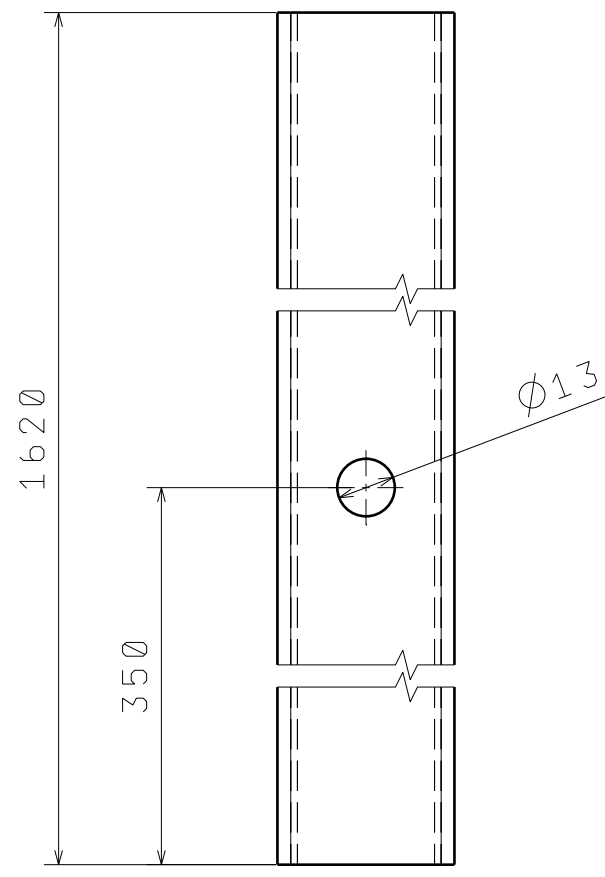


Roz. - Polot.		TR OBD 60X40X1,5 - 1310				Presnos	
POČET KUSŮ		2	c)		Mater.	Tr. odp	Tolerovali & presnost
			b)		C. hm	Hr. hm	
			a)				
Zmena		Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci		
	Pozn.	Navrhl					
		Kreslil	RESL Z.				
C. seznamu		Technolog			DÍL 4 ST-04		
C. sestavy		Normaliz.					
Stary vykr.		Schvalil					
Novy vykr.		Datum	19.5.2014				
					Cis. vykresu list: 1 listů: 1		

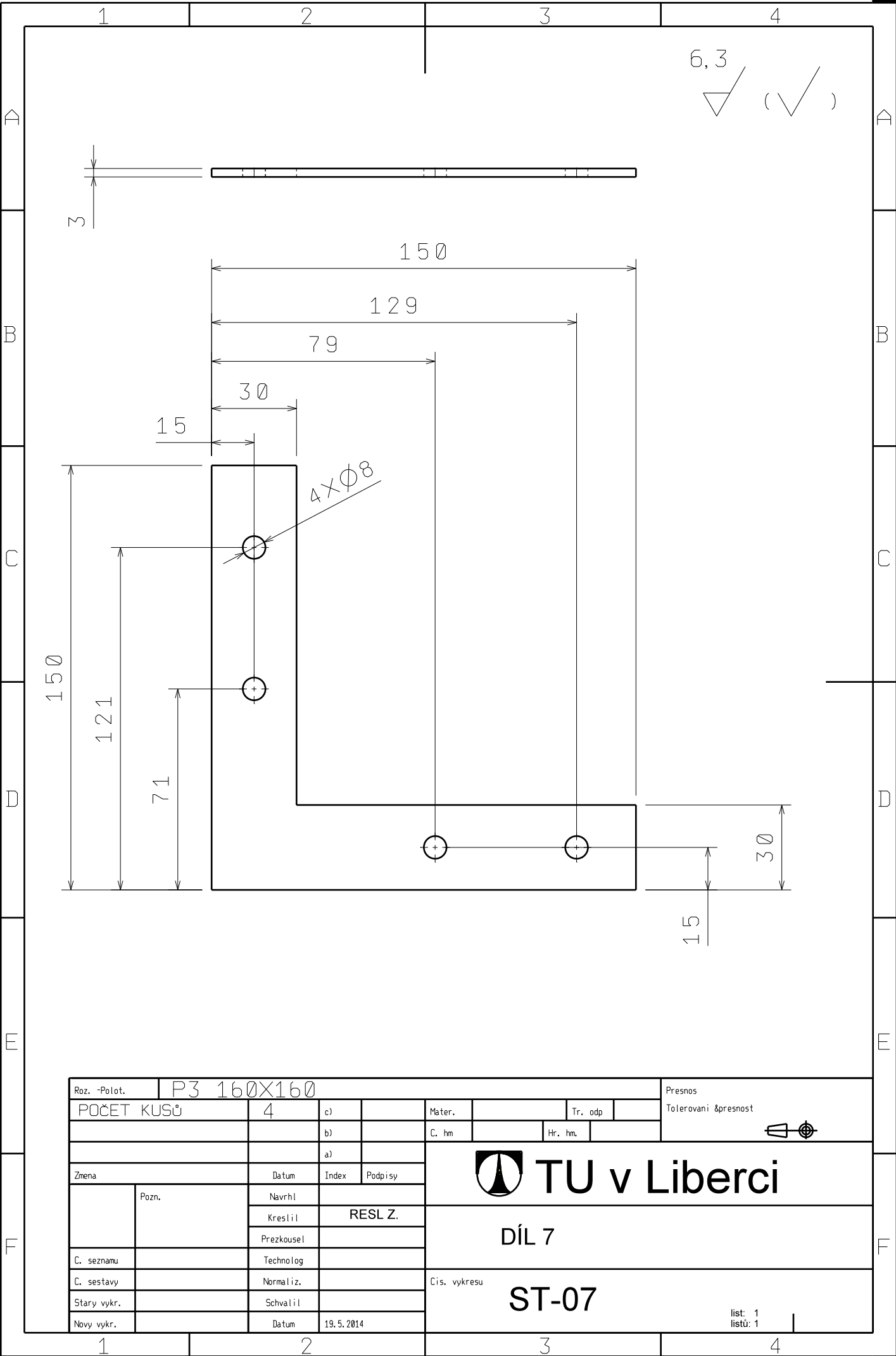


Roz. -Polot.		P5 160X160				Presnos					
POČET KUSŮ		2		c)		Mater.		Tr. odp		Tolerovani & presnost	
				b)		C. hm		Hr. hm			
				a)							
Zmena		Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci						
	Pozn.	Navrhl									
		Kreslil		RESL Z.							
		Prezkousel									
C. seznamu		Technolog				Cis. vykresu					
C. sestavy		Normaliz.									
Stary vykr.		Schvalil									
Novy vykr.		Datum		19.5.2014							
						DÍL 5					
						ST-05					
						list: 1 listů: 1					

6,3
▽ (✓)



Roz. - Polot.		TR OBD 60X40X1,5 - 1630				Presnos			
POČET KUSŮ		2	c)		Mater.	Tr. odp	Tolerovani & presnost		
			b)		C. hm	Hr. hm.			
			a)						
Zmena		Datum	Index	Podpisy					
	Pozn.	Navrhl		TU v Liberci					
		Kreslil						RESL Z.	
		Prezkousel							
C. seznamu		Technolog		DÍL 6					
C. sestavy		Normaliz.						Cis. vykresu	
Stary vykr.		Schvalil						ST-06	
Novy vykr.		Datum		19.5.2014	list: 1 listů: 1				



1	2	3	4
---	---	---	---

6,3
 ∇ (√)

Roz. - Polot.		P5 110x30				Presnos	
POČET KUSŮ		2	c)		Mater.		Tr. odp
			b)		C. hm	Hr. hm.	Tolerovani & presnost
			a)				
Zmena		Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci DÍL 8 ST-08		
	Pozn.	Navrhl					
		Kreslil	RESL Z.				
		Prezkousel					
C. seznamu		Technolog			Cis. vykresu		
C. sestavy		Normaliz.					
Stary vykr.		Schvalil					
Novy vykr.		Datum	19.5.2014		list: 1 listů: 1		

1	2	3	4
---	---	---	---

1	2	3	4																																																			
A	6,3 ()																																																					
B	NAVAŘENÝ KRYCÍ PLECH 																																																					
C																																																						
D																																																						
E																																																						
F	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Roz. -Polot.</td> <td colspan="3"></td> <td style="width: 15%;">Presnos</td> </tr> <tr> <td>POČET KUSŮ</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="width: 10%;">c)</td> <td></td> <td>Mater.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>b)</td> <td></td> <td>C. hm</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>a)</td> <td></td> <td>Hr. hm.</td> </tr> <tr> <td>Zmena</td> <td>Datum</td> <td>Index</td> <td>Podpisy</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;"> TU v Liberci SVAŘENEC 1 ST-S-01 </td> </tr> <tr> <td rowspan="3"></td> <td rowspan="3">Pozn.</td> <td>Navrhl</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kreslil</td> <td style="text-align: center;">RESL Z.</td> </tr> <tr> <td>Prezkoušel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C. seznamu</td> <td></td> <td>Technolog</td> <td></td> <td rowspan="3" style="text-align: right;"> list: 1 listů: 1 </td> </tr> <tr> <td>C. sestavy</td> <td></td> <td>Normaliz.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Starý vykr.</td> <td></td> <td>Schválil</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nový vykr.</td> <td></td> <td>Datum</td> <td>19.5.2014</td> <td></td> </tr> </table>			Roz. -Polot.				Presnos	POČET KUSŮ	2	c)		Mater.			b)		C. hm			a)		Hr. hm.	Zmena	Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci SVAŘENEC 1 ST-S-01		Pozn.	Navrhl		Kreslil	RESL Z.	Prezkoušel		C. seznamu		Technolog		list: 1 listů: 1	C. sestavy		Normaliz.		Starý vykr.		Schválil		Nový vykr.		Datum	19.5.2014	
Roz. -Polot.				Presnos																																																		
POČET KUSŮ	2	c)		Mater.																																																		
		b)		C. hm																																																		
		a)		Hr. hm.																																																		
Zmena	Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci SVAŘENEC 1 ST-S-01																																																		
	Pozn.	Navrhl																																																				
		Kreslil	RESL Z.																																																			
		Prezkoušel																																																				
C. seznamu		Technolog		list: 1 listů: 1																																																		
C. sestavy		Normaliz.																																																				
Starý vykr.		Schválil																																																				
Nový vykr.		Datum	19.5.2014																																																			
1	2	3	4																																																			

1

2

3

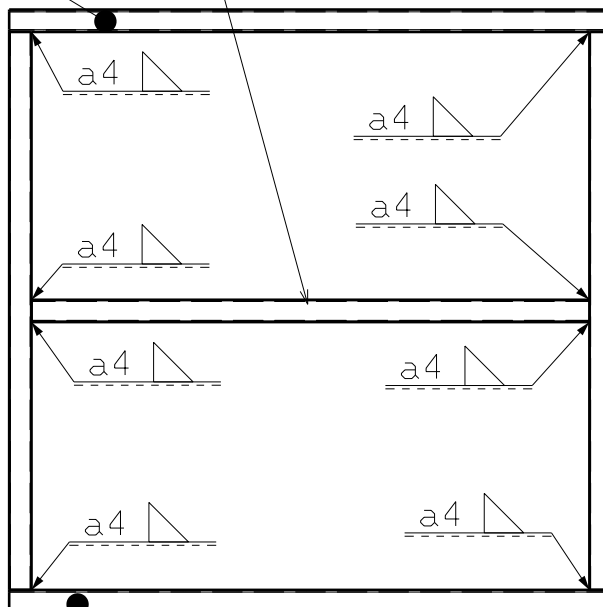
4

6,3



2

TR OBD 60X40X1,5 - 1500



1



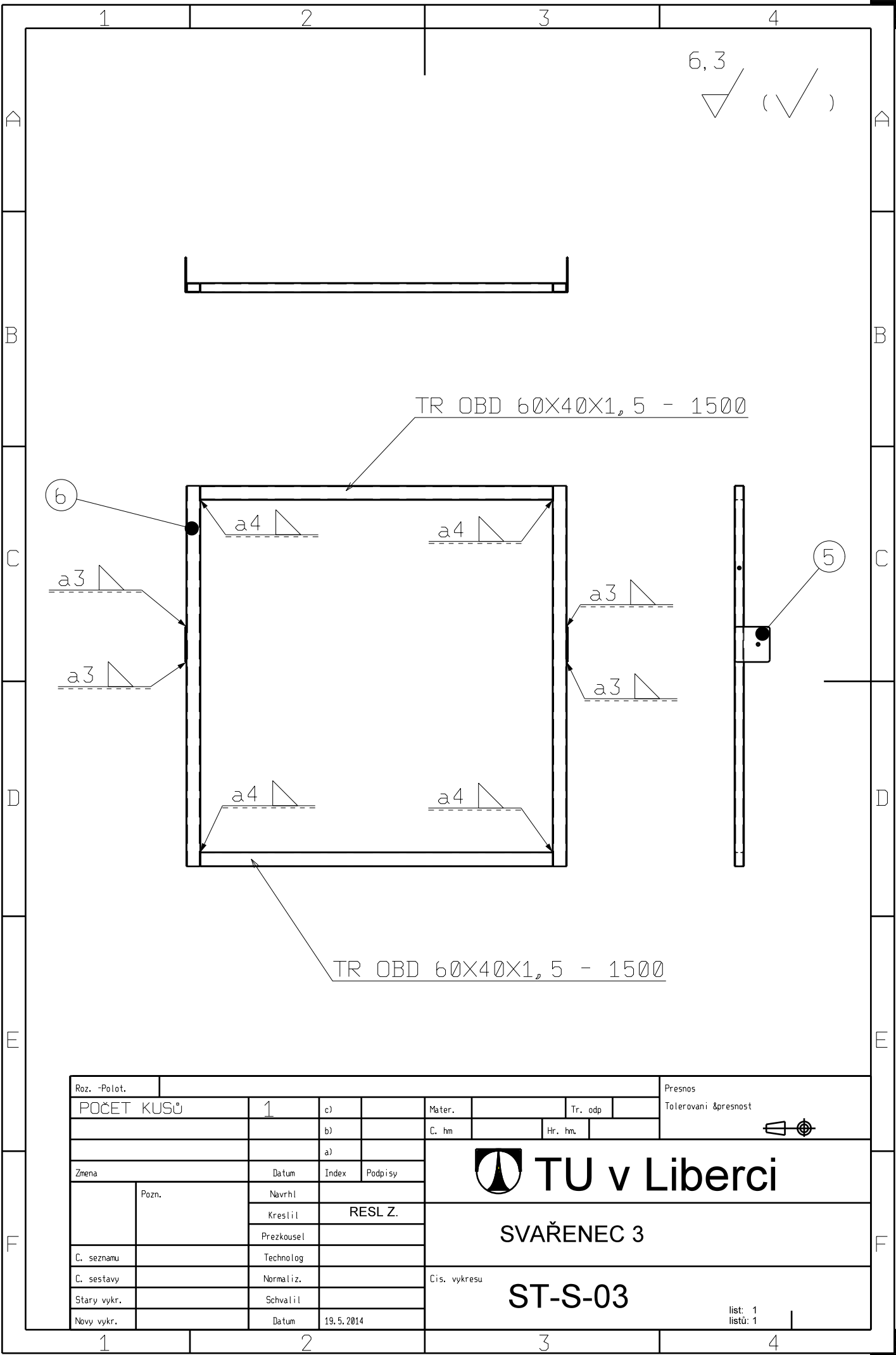
Roz. - Polot.						Presnos	
POČET KUSŮ		1	c)		Mater.	Tr. odp	Tolerovani & presnost
			b)		C. hm	Hr. hm	
			a)				
Zmena		Datum	Index	Podpisy	TU v Liberci		
	Pozn.	Navrhl					
		Kreslil	RESL Z.				
C. seznamu		Technolog			SVAŘENEC 2 ST-S-02		
C. sestavy		Normaliz.					
Stary vykr.		Schválil					
Novy vykr.		Datum	19. 5. 2014				
					Cis. vykresu list: 1 listů: 1		



1

2

3

4



Roz. -Polot.							Presnos			
POČET KUSŮ		1	c)		Mater.		Tr. odp		Tolerovani &presnost	
			b)		C. hm		Hr. hm			
			a)		 TU v Liberci					
Zmena		Datum	Index	Podpisy						
	Pozn.	Navrh		RESL Z.						
		Kreslil								
		Prezkousel								
C. seznamu		Technolog			Cis. vykresu					
C. sestavy		Normaliz.								
Stary vykr.		Schvalil								
Novy vykr.		Datum	19. 5. 2014							
ST-S-03										
list: 1 listů: 1										

10	SESTAVA	MAYTEC 30X30 - 11450	1
9	ST-S-03	TR OBD 60X40X1,5 - 1510 (POZINKOVAT)	2
8	ST-S-02	TR OBD 60X40X1,5 - 1510 (POZINKOVAT)	1
7	ST-07	P3 160X160 (POZINKOVAT)	4
6	ST-06	TR OBD 60X40X1,5 - 1630 (POZINKOVAT)	2
5	ST-05	P5 160X160 (POZINKOVAT)	2
4	ST-04	TR OBD 60X40X1,5 - 1310 (POZINKOVAT)	2
3	ST-03	TR OBD 60X40X1,5 - 1210 (POZINKOVAT)	2
2	ST-02	P5 - 160X50 (POZINKOVAT)	2
1	ST-01	U 60X40X1,5 - 1630 (POZINKOVAT)	1L+1P
Poz.	Název - Rozměr - Č. výkresu	Polotovár	Ks.

VÝKRES UMÍSTĚNÍ KOLEKTORŮ NA STŘEŠE BUDOVY G

